

Редакционный совет:

Голенков В.А. д-р техн. наук,
проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук,
проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
секретарь
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редколлегия

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук,
проф., заслуженный деятель науки
Российской Федерации

Заместители главного редактора:

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии:

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф.,
член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчанинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук,
проф., академик РАН
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Малнин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф.,
академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск:

Василенко Ю.В. канд. техн. наук,
доц.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,
55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информацион-
ных технологий и массовых комму-
никаций. Свидетельство ПИ №
ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс **29504**
по объединенному каталогу «Пресса
России»

© Госуниверситет – УНПК, 2012

Содержание

Естественные науки

Корнеев А.Ю. Математическая модель расчета динамики жесткого ротора на конических подшипниках скольжения методом траекторий 3

Моделирование технологических процессов

Морин В.В. Методы моделирования статико-импульсной обработки внутренних цилиндрических поверхностей 10
Онищенко А.В., Рубин П.С. Разработка математического отображения схемы формообразования арочных зубьев цилиндрических колёс резовыми головками с нулевым углом профиля режущей кромки 15
Саввин В.В., Афонин А.Н. Определение диаметра заготовки под накатывание внутренней трапециевидальной резьбы с помощью 3D моделирования 19
Соколова О.О., Труфанов Н.А. Моделирование этапов технологического процесса изготовления слитка 23
Канатников Н.В., Ревенков А.А. Повышение эффективности обработки конических зубчатых колес среднего модуля 32
Анохин А.М., Кузнецов Н.Н., Дворяжкин С.И., Савков П.С. Повышение характеристик шестеренных насосных агрегатов с помощью совершенствования конструкций подшипников скольжения 37
Мозильников К.А., Сметанников О.Ю., Набоков Ф.В. Моделирование гидротормоза в MSC.EASYS 44

Конструирование, расчеты, материалы

Андреев С.В., Мосин В.З., Морин В.В., Жилев М.А., Поляков А.В., Волобуев А.В., Киричек А.В., Тарасов Д.Е. Установка для упрочнения волной деформации 53
Пряженикова А.А., Сметанин А.С. Режущие свойства твердосплавных сменных многогранных пластин нового поколения российского производства 58
Чуприков А.О. Рациональное использование твердосплавных СМП при чистовой токарной обработке 62

Машиностроительные технологии и инструменты

Аверченков А.В., Аверченков В.И., Терехов М.В. Автоматизированный выбор инструментальных стратегий обработки и режущего инструмента для многофункционального технологического оборудования с ЧПУ 68
Катулин А.Д., Марков В.В., Ветчинников Д.А. Технологические режимы и погрешности прецизионной лазерной маркировки изделий 74
Алюшин Е.Г., Воронков А.В., Степанов Ю.С. Повышение эффективности гидроабразивного резания путем направленной вибрации материала вдоль линии реза 82
Лакалина Н.Ю. Повышение эффективности обработки точных глухих резьб с крупными шагами одинарными метчиками и винтовыми стружечными канавками 88
Макалова О.А., Рубин П.С. Оборудование и инструмент для изготовления колес с арочными зубьями 93
Прежбилов А.Н. Исследование структуры ледяной частицы для реализации процесса водолеяной очистки поверхностей деталей машин 98
Смоленцев В.П. Состояние и перспективы развития комбинированных методов обработки с наложением электрического поля 103

Машины, аппараты, технологии легкой и пищевой промышленности

Демидова Н.А., Моськина Е.Л., Гуцина Г.Д., Кондратенко В.А. Дополнительные динамические реакции в системе «корпус - кривошипно-ползунный механизм» раскройной машины 111
Корячкин В.П., Сапронова Н.П., Шищенко Б.В., Макеев Е.А. Реологические свойства кековского теста и качество готовых изделий с олигофруктозой 117
Лаврухина М.Н., Срослова Н.А. Исследование упруго-эластических свойств текстильных материалов 122

Инновации и кадры в машиностроении

Иванов А.Д. Экспертная система для обучения и повышения уровня знаний экспертов сектора широкополосного доступа в Интернет 127

Приборостроение и биотехнические системы

Уткин Г.И. Анализ состояния промышленного производства разъёмных электрических соединителей и тенденций его развития 134
Подмастерьев К.В., Моисеев С.А. Прогнозирующий контроль радиоэлектронной аппаратуры с адаптивными интервалами времени 139

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Миронова А.Л., Гончарова Н.И. Анализ технических характеристик и выбор расходомера для установки измерения и учета расхода сжиженного газа УИЖГЭ 50 145
Нуркенов А.Х. Повышение эффективности процесса шлифования на станке с ЧПУ Naxos PMD 320 на основе ограниченной комплексной модели управления циклом шлифования 151
Картавец И.С. Модель процесса контроля и подналадки станка с ЧПУ 157
Пахолкин Е.В., Селифанова Н.И. Способ повышения чувствительности диэлектрического метода исследования состава смазочных материалов 162



The journal is published since 1995
The journal is published 6 times a year

№ 3 - 3 (293) 2012
May - June

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – federal state educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof., secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Low., Prof.
Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.
Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Corresponding Member of RAS
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.
Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph. - Math, Prof.
Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS
Kopylov Y.R. Doc. Sc. Tech., Prof.
Malinin V.G. Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.
Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof.
Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS
Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Vasilenko YU.V. Can. Sc. Tech.,
assistant prof.

Address

302020 Orel,
Naugorskoye Chossee, 29
(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,
55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency
of supervision in sphere of communica-
tion, information technology and mass
communications. The certificate of
registration PI № FS77-47351 from
03.11.2011

Index on the catalogue of the «**Pressa
Rossii**» 29504

© State University ESPC, 2012

Contents

Natural sciences

Korneyev A.YU. The mathematical model of dynamics calculation of rigid rotor on the conical bearings by trajectory method 3

Modelling of technological processes

Morin V.V. Methods of modeling deform 3D static-pulse treatment internal cylindrical surface 10
Onishchenko A.V., Rubin P.S. Working out of mathematical map of the circuit of cutting of arched teeths of cylindrical gears by tool heads with the zero angle of the profile of the active face 15
Savvin V.V., Afonin A.N. Determination by diameter blanks of internal trapezoidal thread rolling with 3D modeling 19
Sokolova O.O., Trufanov N.A. Simulation stages of the technological processes ingot's manufacturing 23
Kanatinov N.V., Revenkov A.A. Improving the efficiency of processing of straight bevel gears 32
Anochin A.M., Kuznetsov N.N., Dvoryadkin S.I., Savkov P.S. The increase of characteristics gear pump units by means of perfection of designs of bearings of sliding 37
Mogilnikov K.A., Smetannikov O.YU., Nabokov F.V. Hydrobrake modelling in MSC.EASY5 44

Designing, calculations, materials

Kirichek A.V., Tarasov D.E., Andreev S.V., Mosin V.Z., Morin V.V., Gilyaev M.A., Polyakov A.V., Volobuev A.V. Installation for hardening of surface plastic deformation wave 53
Pryazhnikova A.A., Smetanin A.S. Cutting properties of hard indexable inserts new generation of Russian industry 58
Chyprikov A.O. Rational use of hard-alloy RMI at finish turning 62

Machine-building technologies and tools

Averchenkov A.V., Averchenkov V.I., Terekhov M.V. Automatization of processing strategy and selecting cutting tools for the manufacturing equipment with CNC 68
Katunin A.D., Markov V.V., Vetchinnikov D.A. Technological regimes and errors of precision laser marker the articles 74
Alyushin E.G., Voronkov A.V., Stepanov YU.V. Effectiveness increase of hydro-abrasive cutting by material directed vibration along cutting line 82
Lakalina N.Y. Improving the efficiency of exact treatment of the deaf thread with large steps single tap with screw flutes 88
Makalova O.A., Rubin P.S. The equipment and the instrument for manufacture of gears with arched teeths 93
Prezhbilov A.N. Investigation of the structure of ice particles for the implementation of the clean vodoledyanoy surfaces of machine parts 98
Smolentsev V.P. Status and development prospect of combined processing techniques with imposition of electric field 103

Machines, devices, technologies, light and food industry

Demidova N.A., Moskina E.L., Gustchina G.D., Kondratenko V.A. Additional dynamic reactions in system «the case – the krivoshipno-polzunny mechanism» raskroyna of the car 111
Koryachkin V.P., Sapronova N.P., Shishenok B.V., Makeev E.A. Rheological properties keksovogo dough and the quality finished products with oligofructose 117
Lavruhina M.N., Sroslova N.A. Study of elastic properties of textile materials 122

Innovations and personnel in machine-building

Ivanov A.D. Expert system of learning and improving knowledge for experts of broadband sector of the internet access 127

Instrument-building and biotechnical systems

Utkin G.I. Analysis condition of industrial production the prefabricated electrical connectors and the tendencies of they development 134
Podmasteryev K.V., Moiseev S.A. The predicting control of radio-electronic equipment with adaptive intervals of time 139

Control, diagnostics, tests and quality management

Mironova A.L., Goncharova N.I. Analysis of technical characteristics and choice of flowmeter for metering and account of LPG flow rate UIZHGE 50 145
Nurkenov A.H. Increasing the efficiency of grinding on CNC machines NAXOS PMD 320 based on limitations of complex grinding cycle control model 151
Kartavtsev I.S. NC machine control and adjustment process model 157
Pakholkin E.V., Seljanova N.I. Way of increase of sensitivity of the method of dielectric permeability in research of composition of lubricants 157

УДК 621.822

А.Ю. КОРНЕЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ЖЕСТКОГО РОТОРА НА КОНИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТОДОМ ТРАЕКТОРИЙ

Предложена математическая модель расчета динамики жесткого ротора на конических подшипниках скольжения методом траекторий. Система уравнений движения записана для одномассового двухопорного ротора на конических подшипниках скольжения. Представлен алгоритм расчета траекторий движения центра цапфы в конических подшипниках скольжения.

Ключевые слова: динамика, конический подшипник, уравнения движения, метод траекторий

Применение опор жидкостного трения в конструкциях подвески роторных систем высокоскоростных турбомашин длительного ресурса является распространенной практикой. В этом случае традиционная компоновка подвеса включает в себя опорный и упорный подшипники для компенсации соответственно радиальной и осевой составляющих внешней нагрузки. Тенденция к сокращению габаритов и массы машин при увеличении частот вращения их роторов приводят к целесообразности применения конических опор жидкостного трения, способных одновременно воспринимать радиальную и осевую нагрузку [1, 2]. При этом одной из основных задач проектирования и расчета опор скольжения становится обеспечение устойчивости движения ротора высокоскоростной турбомашин [3, 4]. Одним из методов, позволяющим судить об устойчивости системы «ротор – подшипники скольжения», является метод траекторий.

Метод траекторий (метод переходных режимов) является эффективным средством [2, 5 – 7] изучения влияния нелинейности реакций смазочного слоя и позволяет моделировать реальное динамическое поведение ротора. Метод основан на совместном численном интегрировании системы уравнений гидродинамики несущего слоя и уравнений движения ротора. Поэтому можно проследить вклад специфических эффектов, происходящих в смазочном слое (вскипание и двухфазное состояние) на динамику ротора.

Траектории движения цапфы представляют собой геометрическое место точек, определяющих положение центра опорной части ротора, движущегося под действием системы внешних возмущающих сил и реакций смазочного слоя, в конкретный момент времени. Траектория является диаграммой, построенной в полярных координатах; положение каждой точки характеризуется эксцентриситетом e и углом положения линии центров φ . Этот метод позволяет изучать динамику ротора при любых эксцентриситетах. В случае конических опор скольжения цапфа ротора движется не только в сечении, перпендикулярном продольной оси подшипника, но и вдоль оси, т.е. совершает сложное пространственное движение. Ротор представляется сосредоточенной массой, движущейся под действием внешних сил (F_x, F_y, F_z) и реакций подшипника (R_x, R_y, R_z).

Вид и размеры траектории движения центра цапфы определяются видом и характером нагружения, геометрическими и рабочими параметрами системы. В общем случае действующие на ротор внешние силы являются переменными по величине и направлению. В зависимости от характера действующих на ротор сил можно выделить следующие основные виды плоских траекторий и состояний устойчивости роторной системы:

1) орбитально-устойчивое состояние (устойчивый предельный цикл), при котором центр цапфы описывает повторяющиеся траектории эллиптического вида (рис. 1, *a*); такой вид траекторий характерен для несбалансированного ротора, совершающего вынужденные колебания под действием центробежной нагрузки; геометрия эллипса определяется соотношением силы тяжести и нагрузки от дисбаланса;

2) точно-устойчивое состояние (фокус), траекторию которого описывает центр цапфы сбалансированного ротора и останавливается на кривой подвижного равновесия (рис. 1, *б*);

3) неустойчиво-ограниченное состояние ротора, характеризующееся незамкнутой, развивающейся в ограниченной плоскости, траекторией сложной формы [2, 5, 8]; свидетельствует о наличии в системе самовозбуждающихся колебаний ограниченной амплитуды, обусловленных нелинейными свойствами несущего слоя; ротор сохраняет свою работоспособность;

4) замкнутые кривые сложной формы (наклоненная цифра «8» (рис. 1, *в*), «улитка Паскаля» (рис. 1, *г*), кардиоида (рис. 1, *д*), эпициклоида (рис. 1, *е, ж*) и т.д.); в этом случае ротор подвержен действию автоколебаний с частотой прецессии Ω и наложенным на них синхронным колебаниям от дисбаланса с частотой ω (бигармонические колебания) [8];

5) неустойчиво-неограниченное состояние, при котором ротор работает в неустойчивой области, а траектория движения цапфы представляет собой разворачивающуюся спираль, стремящуюся к границам зазора (рис. 1, *з*).

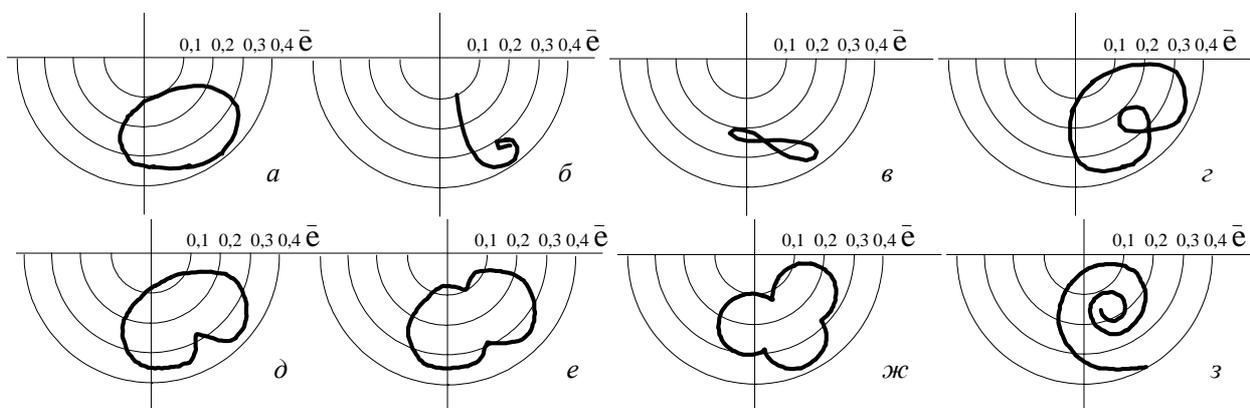


Рисунок 1 – Виды траекторий движения центра цапфы

Метод траекторий позволяет судить об устойчивости системы «ротор – подшипники скольжения» на основании следующих соображений:

- траектория центра цапфы устойчивого ротора, беря начало в некоторой исходной точке, заканчивается либо фокусом, либо предельным циклом;
- если движение ротора является неустойчивым, то траектория центра цапфы либо монотонно удаляется от исходного положения, достигая со временем границы радиального зазора, либо постепенно заполняет некоторую область, не доходя до границы зазора. Таким образом, суждение об устойчивости или неустойчивости системы делается на основании вида траектории.

Рассмотрим движение жесткого двухопорного ротора массы m , опирающегося на два симметричных конических подшипника скольжения (рис. 2). Ротор будем считать нагруженным следующими силами: силой тяжести, центробежными силами (характеризуются дисбалансом), равнодействующими гидродинамического давления, силами трения смазочного слоя. Последние две составляющие образуют реакцию смазочного слоя \bar{R}_S . Подставляя выражения для кинетической, потенциальной энергии и обобщенной силы в уравнения Лагранжа II рода, записанные для выбранных обобщенных координат (X, Y, Z) , и совершая некоторые преобразования, получаем систему уравнений движения для жесткого ротора:

$$\begin{cases} m\ddot{X} = \sum R_{S_X} + m\Delta\omega^2 \sin \omega t + F_X; \\ m\ddot{Y} = \sum R_{S_Y} + m\Delta\omega^2 \cos \omega t + mg + F_Y; \\ m\ddot{Z} = \sum R_{S_Z} + F_Z. \end{cases} \quad (1)$$

При симметричном расположении ротора в опорах скольжения уравнения движения жесткого ($c = \infty$) ротора в декартовых координатах имеют вид (знак «2» перед реакциями смазочного слоя означает наличие двух одинаковых подшипников):

$$\begin{cases} m\ddot{X} = 2R_{S_X} + m\Delta\omega^2 \sin \omega t + F_X; \\ m\ddot{Y} = 2R_{S_Y} + m\Delta\omega^2 \cos \omega t + mg + F_Y; \\ m\ddot{Z} = F_Z. \end{cases} \quad (2)$$

Как было сказано выше, при построении траектории движения центра цапфы уравнения (2) представляются в полярных координатах. При переходе учитываются следующие геометрические и кинематические соотношения:

$$\begin{cases} X = e_p \sin \varphi; \\ Y = e_p \cos \varphi; \\ Z = e_o; \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{X} = \dot{e}_p \sin \varphi + e_p \dot{\varphi} \cos \varphi; \\ \dot{Y} = \dot{e}_p \cos \varphi - e_p \dot{\varphi} \sin \varphi; \\ \dot{Z} = \dot{e}_o; \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{X} = \ddot{e}_p \sin \varphi + 2\dot{e}_p \dot{\varphi} \cos \varphi + e_p \ddot{\varphi} \cos \varphi - e_p \dot{\varphi}^2 \sin \varphi; \\ \ddot{Y} = \ddot{e}_p \cos \varphi - 2\dot{e}_p \dot{\varphi} \sin \varphi - e_p \ddot{\varphi} \sin \varphi - e_p \dot{\varphi}^2 \cos \varphi; \\ \ddot{Z} = \ddot{e}_o. \end{cases} \quad (3)$$

После подстановки соотношений (3) в уравнения движения (2) и некоторых преобразований система примет вид:

$$\begin{cases} \Lambda(\ddot{e}_\delta'' - \ddot{e}_\delta \varphi'^2) = (2\bar{R}_{S_X} + \bar{F}_X) \sin \varphi + (2\bar{R}_{S_Y} + \bar{F}_Y) \cos \varphi + \bar{Q} \cos(\bar{t} - \varphi) + \bar{G} \cos \varphi; \\ \Lambda(\ddot{e}_\delta \varphi'' + 2\dot{e}_\delta \varphi') = (2\bar{R}_{S_X} + \bar{F}_X) \cos \varphi - (2\bar{R}_{S_Y} + \bar{F}_Y) \sin \varphi + \bar{Q} \sin(\bar{t} - \varphi) - \bar{G} \sin \varphi; \\ \Lambda \ddot{e}_i'' = \bar{F}_Z, \end{cases} \quad (4)$$

где Λ – приведенная масса, характеризующая инерционные свойства:

$$\Lambda = \frac{mh_0}{p_0 r_0^2 t_0^2} = \frac{mh_0 \omega_0^2}{p_0 r_0^2}; \quad t_0 = \frac{1}{\omega_0}.$$

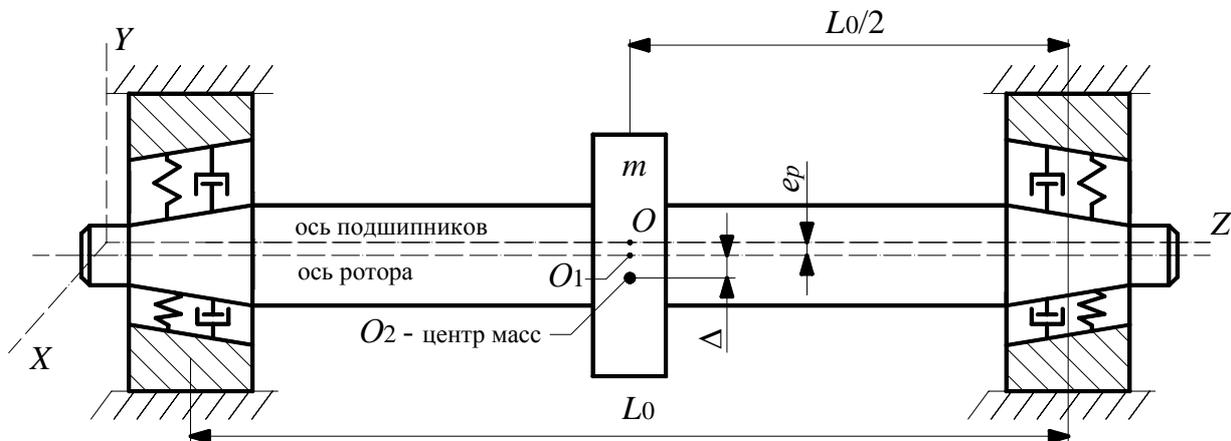


Рисунок 2 – Расчетная схема системы «жесткий ротор – КПС»

Аналитическое интегрирование полученных уравнений движения жесткого ротора (4) не представляется возможным ввиду отсутствия аналитических зависимостей для реакций

смазочного слоя R_{S_i} и их производных. Поэтому для получения траекторий движения необходимо численное интегрирование уравнений системы (4). Алгоритм расчета траекторий движения центра цапфы приведен на рисунке 3.

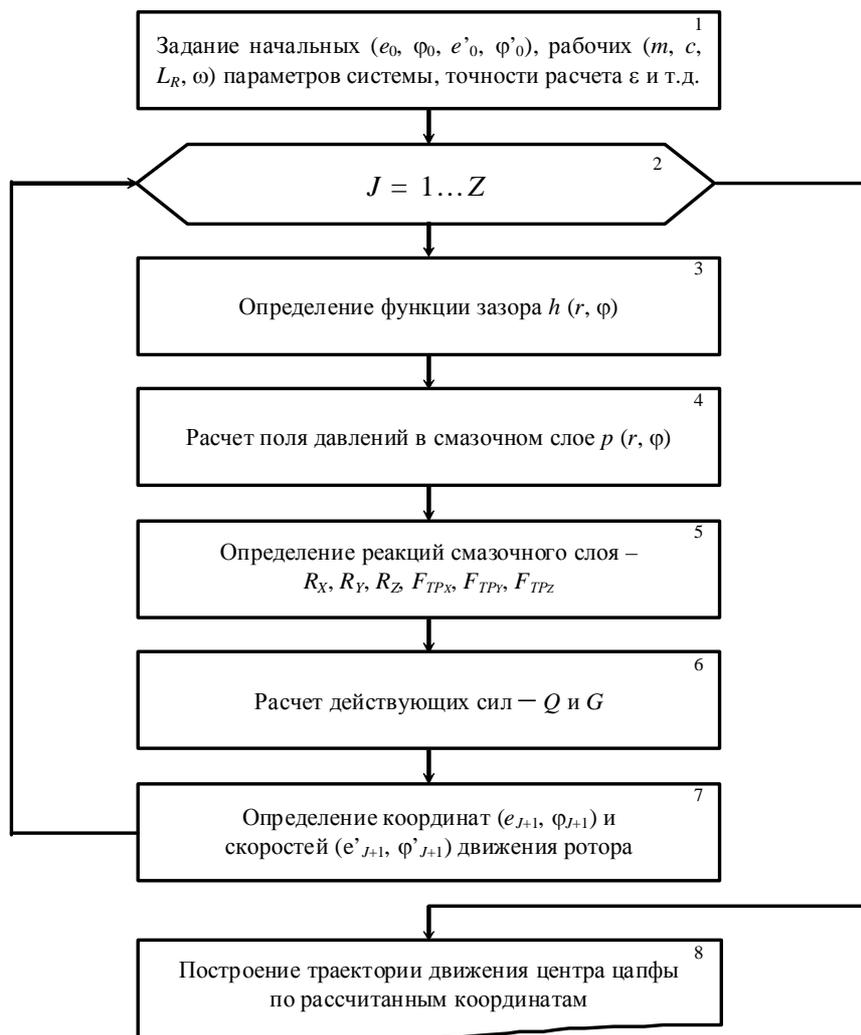


Рисунок 3 -- Алгоритм расчета траекторий движения центра цапфы

Блок 1. Задание исходных данных для расчета координат центра цапфы в подшипнике скольжения. В качестве начальных условий принимаются значения координат и скоростей центра цапфы в начальный момент времени:

$$\bar{e}_{\delta}(0) = \bar{e}_0; \quad \varphi(0) = \varphi_0; \quad \bar{e}'_{\delta}(0) = \bar{e}'_0; \quad \bar{e}'_{\delta}(0) = \bar{e}'_0; \quad \varphi'(0) = \varphi'_0; \quad \bar{e}'_{\delta}(0) = \bar{e}'_0. \quad (5)$$

Для уменьшения времени выхода центра цапфы на расчетную траекторию в качестве начального положения принимались значения координат центра цапфы на кривой подвижного равновесия. Величина шага интегрирования по времени Δt определяется путем разбиения времени одного оборота t_0 на несколько интервалов Z_0 ($Z_0 = 50 \dots 150$), число которых зависит от массы и скорости вращения ротора: $\Delta t = t_0 / Z_0$. Точность расчета деформаций варьируется в интервале: $\epsilon = 0,0005 \dots 0,01$. В качестве рабочих параметров задаются следующие величины: масса ротора m , его жесткость c , угловая скорость ω и длина L_0 . Также в данном блоке задается общее число интервалов интегрирования, которое определяет время движения (несколько оборотов).

Блок 2. Этот блок необходим для организации цикла, определяющего время интегрирования. Каждый шаг цикла позволяет определить новые координаты центра цапфы, служащие для построения искомой траектории.

Блоки 3 – 5. В этих блоках определяется функция зазора, и рассчитываются поле давлений и реакции смазочного слоя. Подробный алгоритм определения этих величин описан в предыдущих работах [2, 5].

Блок 6. Предназначен для расчета значений проекций главного вектора действующих сил на каждом временном шаге с учетом величины силы тяжести G и дисбаланса Q , а также скоростного режима. При определении величины, направления и точки приложения главного вектора действующих сил приняты следующие допущения: ротор сводится к одномассовой модели; действующая на ротор распределенная нагрузка заменена эквивалентной сосредоточенной силой; величина и направление действующей силы в каждый момент времени определяется по принципу суперпозиции векторной суммой центробежной силы и силы тяжести; точка приложения силы находится в центре масс ротора; действующие на опоры силы для двухопорной схемы распределяются симметрично.

Блок 7. Блок предназначен для численного интегрирования уравнений движения (4) жесткого ротора. Используя следующие замены: $\bar{e}'_{\delta} = z_1$, $\varphi' = z_2$ и $\bar{e}'_i = z_3$, можно записать системы в форме уравнений, разрешенных относительно первой производной. Тогда система (4) примет вид:

$$\begin{cases} \bar{e}'_{\delta} = z_1; & \varphi' = z_2; & \bar{e}'_i = z_3; \\ z'_1 = \frac{(2\bar{R}_{S_X} + \bar{F}_X)\sin\varphi + (2\bar{R}_{S_Y} + \bar{F}_Y)\cos\varphi + \bar{Q}\cos(\bar{t} - \varphi) + \bar{G}\cos\varphi}{\Lambda} + \bar{e}_{\delta} z_2^2; \\ z'_2 = \frac{(2\bar{R}_{S_X} + \bar{F}_X)\cos\varphi - (2\bar{R}_{S_Y} + \bar{F}_Y)\sin\varphi + \bar{Q}\sin(\bar{t} - \varphi) - \bar{G}\sin\varphi}{\bar{e}_{\delta}\Lambda} - \frac{2z_1 z_2}{\bar{e}_{\delta}}; \\ z'_3 = \frac{\bar{F}_Z}{\Lambda}. \end{cases} \quad (6)$$

Граничные условия (5) в таком случае примут вид:

$$\bar{e}_{\delta}(0) = \bar{e}_0; \quad \varphi(0) = \varphi_0; \quad \bar{e}_i(0) = \bar{e}'_i; \quad z_1(0) = \bar{e}'_0; \quad z_2(0) = \varphi'_0; \quad z_3(0) = \bar{e}'_i.$$

Системы дифференциальных уравнений (6) решаются численным 4-х шаговым методом Адамса-Башфорта, имеющим четвертый порядок точности [9]. Выбор метода основывался на опыте интегрирования аналогичной системы различными методами, изложенными в работах [5 – 7], где рассмотрены метод Эйлера и его модификации, методы Рунге-Кутты, Милна, Адамса и др., а также на сравнительном анализе этих методов [9, 10]. Проведенные исследования показали, что выбранный метод Адамса-Башфорта является наиболее приемлемым. Это объясняется тем, что данный метод обладает высокой точностью по сравнению с методом Эйлера и его модификациями; требует меньшего числа вычислений правой части дифференциального уравнения по сравнению с методом Рунге-Кутты того же порядка точности, что существенно снижает затраты времени; обладает большей устойчивостью по сравнению с методом Милна, у которого может наблюдаться экспоненциальный рост погрешности распространения. Недостатком метода Адамса-Башфорта, как и других многошаговых методов, является невозможность самостартования. Поэтому для расчета первых трех (после начальной) точек траектории используется метод Эйлера. В соответствии с 4-х шаговым методом Адамса-Башфорта численное решение уравнения $y' = f(x, y(x))$ ищется в виде:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{\Delta x}{24} \cdot [55f_n - 59f_{n-1} + 37f_{n-2} - 9f_{n-3}],$$

где Δx – шаг интегрирования;

n – номер текущего значения y .

Тогда имея в виду (6) формулы для расчета координат и скоростей примут следующий вид (для $j > 4$):

$$\begin{cases} \bar{e}_{j+1} = \bar{e}_j + \frac{\Delta \bar{t}}{24} \cdot [55\bar{e}'_j - 59\bar{e}'_{j-1} + 37\bar{e}'_{j-2} - 9\bar{e}'_{j-3}] & \varphi_{j+1} = \varphi_j + \frac{\Delta \bar{t}}{24} \cdot [55\varphi'_j - 59\varphi'_{j-1} + 37\varphi'_{j-2} - 9\varphi'_{j-3}] \\ \bar{e}'_{j+1} = \bar{e}'_j + \frac{\Delta \bar{t}}{24} \cdot [55\bar{e}''_j - 59\bar{e}''_{j-1} + 37\bar{e}''_{j-2} - 9\bar{e}''_{j-3}] & \varphi'_{j+1} = \varphi'_j + \frac{\Delta \bar{t}}{24} \cdot [55\varphi''_j - 59\varphi''_{j-1} + 37\varphi''_{j-2} - 9\varphi''_{j-3}] \end{cases} \quad (7)$$

На начальном этапе ($j \leq 4$) используется метод Эйлера:

$$\begin{cases} \bar{e}_{j+1} = \bar{e}_j + \Delta \bar{t} \cdot \bar{e}'_j; & \bar{e}'_{j+1} = \bar{e}'_j + \Delta \bar{t} \cdot \bar{e}''_j; \\ \varphi_{j+1} = \varphi_j + \Delta \bar{t} \cdot \varphi'_j; & \varphi'_{j+1} = \varphi'_j + \Delta \bar{t} \cdot \varphi''_j. \end{cases} \quad (8)$$

Начальные условия (при $j = 1$) записываются в соответствии с (5). Ускорения $\bar{e}''_{\delta} = z'_1$, $\varphi'' = z'_2$ и $\bar{e}''_i = z'_3$ на каждом шаге интегрирования определяются правыми частями четвертого, пятого и шестого уравнений систем (6) для жесткого ротора по расчетным значениям действующих сил.

Блок 8. После завершения интегрирования уравнений движения на заданном интервале выводятся результаты расчета: координаты, скорости, силы, деформации и т.д. в каждый момент времени. По рассчитанным значениям координат строится траектория движения, на основании которой можно судить о динамических характеристиках исследуемой системы.

Для всестороннего изучения динамики системы «ротор – конические подшипники» необходимо построить и исследовать семейство траекторий, полученных путем варьирования различных параметров: скорости, дисбаланса, массы и жесткости ротора, температуры и давления подачи смазочного материала, геометрических характеристик подшипников и т.д. Предложенная математическая модель расчета динамики жесткого ротора на конических подшипниках скольжения методом траекторий позволяет анализировать динамическое поведение ротора и давать определенные рекомендации при проектировании системы «ротор – конические подшипники скольжения».

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов, В.А. Трибология подшипников и уплотнений жидкостного трения высокоскоростных турбомашин [Текст] / В.А. Максимов, Г.С. Баткис. – Казань, ФЭН, 1998. – 428 с.
2. Корнеев, А. Ю. Конические подшипники жидкостного трения [Текст] : монография / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, О.В. Соломин. – М.: Машиностроение-1, 2008. – 172 с.
3. Prabhu T. Jayachandra, Ganesan N., Rao B.V.A. Stability of vertical rotor system supported by hydrostatic thrust bearings // Proc. 6th World Congress Theory Mach. and Mech. – New Delhi, 1983. – Vol. 2. – P. 1339-1342 (англ.).
4. Позняк, Э. Л. Колебания роторов [Текст] / Э. Л. Позняк // Вибрации в технике. В 6 т. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 130 - 189 .
5. Соломин, О. В. Колебания и устойчивость роторов на подшипниках скольжения в условиях вскипания смазочного материала [Текст] / О. В. Соломин: Дис. ... канд. техн. наук – Орел, 2000. – 259 с.
6. Эйкерс, А. Граница устойчивости по отношению к вихрю для радиального подшипника конечной длины [Текст] / А. Эйкерс, С. Михаелсон, А. Камерон // Проблемы трения и смазки. – 1971. – №1. – С. 170 - 182.
7. Артеменко, Н. П. Траектории вынужденных колебаний и автоколебаний высокоскоростных роторов на ГСП [Текст] / Н. П. Артеменко, В. Н. Доценко, А. И. Чайка // Исследование и проектирование гидростатических опор и уплотнений быстроходных машин. – Харьков: ХАИ, 1977. – Вып. 4. – С. 31 - 35.
8. Пешти, Ю. В. Газовая смазка [Текст] / Ю. В. Пешти. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1993. – 382 с.
9. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров [Текст] / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
10. Самарский, А.А. Численные методы [Текст] / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

Корнеев Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл

Канд. техн. наук, доц. каф. «Динамика и прочность машин»

Тел. (4862) 41-98-49

E-mail: korneev_andrey@mail.ru

A.YU. KORNEYEV

THE MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS CALCULATION OF RIGID ROTOR ON THE CONICAL BEARINGS BY TRAJECTORY METHOD

The mathematical model of dynamics calculation of rigid rotor on the conical bearings by trajectory method is offered. The equations set of motion is written for one mass two-bearing rotor on the conical bearings. The calculating algorithm of trajectories of the journal centre in the conical bearings is represented.

Keywords: *dynamics, conical bearing, equations of motion, trajectory method*

BIBLIOGRAPHY

1. Maksimov, V.A. Tribology of bearings and seals of high-speed turbomachinery fluid friction [Text] / V.A. Maksimov, G.S. Batkis. - Kazan, FEN, 1998. - 428 p.
2. Korneev, A.Yu. Tapered lubrication bearings [text]: monograph / A.Yu Korneev, L.A. Savin, O.V. Straws. - M: Mashinostroenie-1, 2008. - 172 p.
3. Prabhu T. Jayachandra, Ganesan N., Rao B.V.A. Stability of vertical rotor system supported by hydrostatic thrust bearings // Proc. 6th World Congress Theory Mach. and Mech. – New Delhi, 1983. – Vol. 2. – P. 1339-1342.
4. Pozniak, E.L. rotor oscillations [Text] / E.L. Pozniak // Vibrations in technology. In 6 vols 3. Vibrations of machines, structures and their elements. - Mashinostroenie, 1980. - S. 130 - 189.
5. Solomin, O.V. Vibrations and stability of rotor-bearing sliding in boiling grease [Text] / O.V. Solomin Dis. ... Candidate. tech. Science - Eagle, 2000. - 259 p.
6. Akers, A. The boundary of stability with respect to the vortex of the radial bearing of finite length [Text] / A. Akers, C. Mihaelson, A. Cameron // Problems of friction and lubrication. - 1971. - № 1. - S. 170 - 182.
7. Artemenko, N.P. Trajectories forced vibrations and oscillations of high-speed rotors on GSP [Text] / N.P. Artemenko, V.N. Dotsenko, A.I. Seagull // Research and design of hydrostatic bearings and seals of high-speed machines. - Kharkov: KAI, 1977. - Issue. 4. - C. 31 - 35.
8. Peshti Yu.V. Gas lubrication [Text] / Yu.V. Peshti. - M.: Bauman MSTU, 1993. - 382 p.
9. Amosov, A.A. Numerical Methods for Engineers [Text] / A.A. Amosov, Yu.A. Dubinsky, N.V. Kopchenova. Moscow: High School, 1994. 544.
10. Samarskii, A.A. Numerical methods [Text] / A.A. Samara, A.V. Gulin. - Moscow: Nauka, 1989. 432.

Korneev Andrey Yurievich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Candidate of Technical Sciences, Assistant Prof. of dep. «Dynamics and strength of machines»

Phone. (4862) 41-98-49

E-mail: korneev_andrey@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.9

В.В. МОРИН

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье рассматриваются методы моделирования процесса статико-импульсной обработки внутренних цилиндрических поверхностей деформирующе-режущими элементами в современных программных продуктах на примере DEFORM 3D.

Ключевые слова: статико-импульсная обработка, деформирующе-режущий элемент, Deform 3D.

Внедрение новых технологий в производство вызывает необходимость использования совершенных малопереходных технологических процессов, обеспечивающих максимальную эффективность производства и высокое качество получаемых изделий. Все большее применение находят комбинированные методы. К одному из таких процессов относится статико-импульсная обработка (СИО) отверстий деформирующе-режущими элементами с косоугольным резанием [1, 2].

Наиболее существенное преимущество статико-импульсной обработки перед другими способами состоит в том, что за счет использования импульсной составляющей нагрузки повышается производительность, выполняются требования по точности геометрических размеров, происходит упрочнение обрабатываемой поверхности.

Опыт, накопленный практикой СИО, показывает, что изменением режимов обработки и геометрии инструмента можно в широких пределах влиять на качество, точность и производительность. Эти экспериментальные исследования весьма дорогостоящие, поэтому наибольшее распространение получили различные способы моделирования технологических процессов.

Одним из мировых лидеров в области моделирования процессов обработки является DEFORM 3D, разработанный компанией Scientific Forming Technology Corporation (SFTC, США). Данный программный продукт позволяет моделировать сложные трехмерные процессы пластической деформации и разрушения материалов. Наличие специальных встроенных модулей позволяет изучать напряженно-деформированное состояние как инструмента, так и заготовки, что важно для моделирования процесса СИО.

В отличие от реального производства, где результаты можно получить лишь через несколько месяцев, компьютерное моделирование позволяет моделировать результаты экспериментов в реальном времени. Появляется возможность заглянуть «внутрь» процесса, что невозможно на производстве, проследить за течением материала, увидеть возможные дефекты.

DEFORM включает возможности исследовательской лаборатории и позволяет получить информацию о напряженно-деформированном состоянии заготовки на разных этапах обработки, распределений температуры, определить состояние макро и микроструктуры поверхностного слоя детали, характер напряжений в инструменте, силовые характеристики процесса и др..

Использование компьютерного моделирования СИО является перспективным и современным методом прогнозирования и оптимизации режимов обработки при проведении экспериментальных исследований и внедрении их в производство.

Моделирование в программной среде DEFORM позволяет выявить возможные причины брака изделия, связанные с особенностью процесса, и снизить его количество. Особен-

ностью процесса статико-импульсной обработки отверстий деформирующе-режущими элементами с косоугольным резанием является образование стружки (рис. 1) и изменение напряжений в процессе обработки (рис. 2). DEFORM позволяет проводить исследования напряжений и анализ силовых параметров.

В препроцессоре DEFORM-3D создаем три объекта: loop – деталь, tool - инструмент и plate - плита. Производим импорт геометрии каждого объекта (рис. 1).

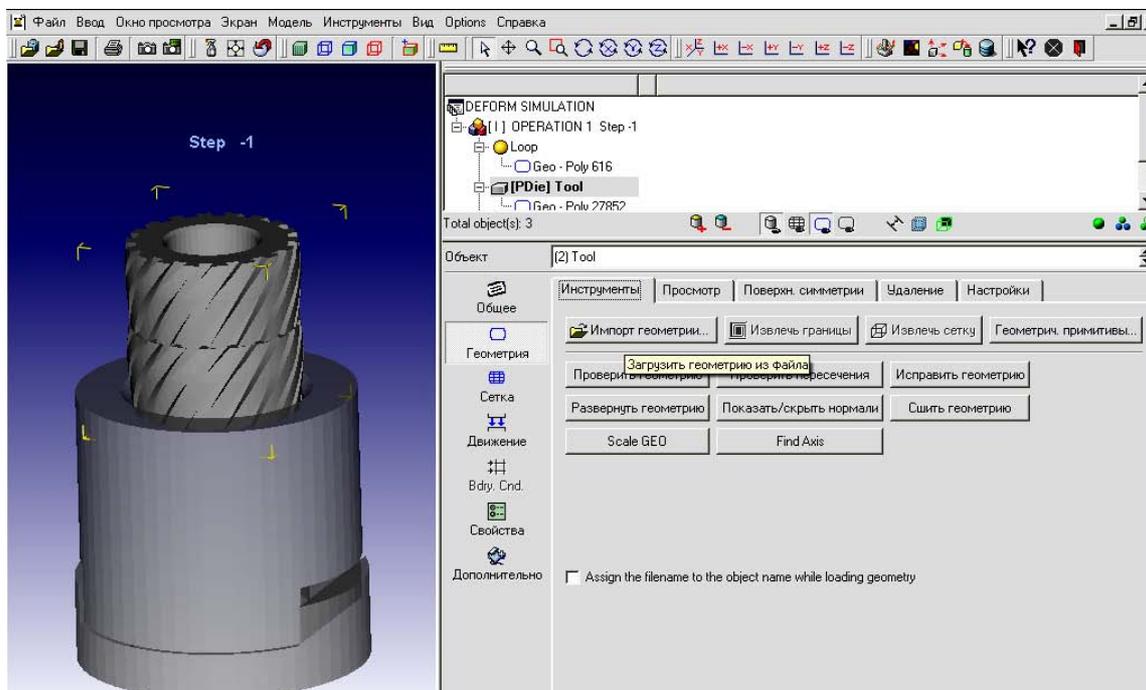


Рисунок 1- Импорт геометрии

Инструмент и плиту задаем как жесткие элементы модели, деталь делаем пластичной и генерируем сетку, разбивая на 50000 конечных элементов (рис. 2).

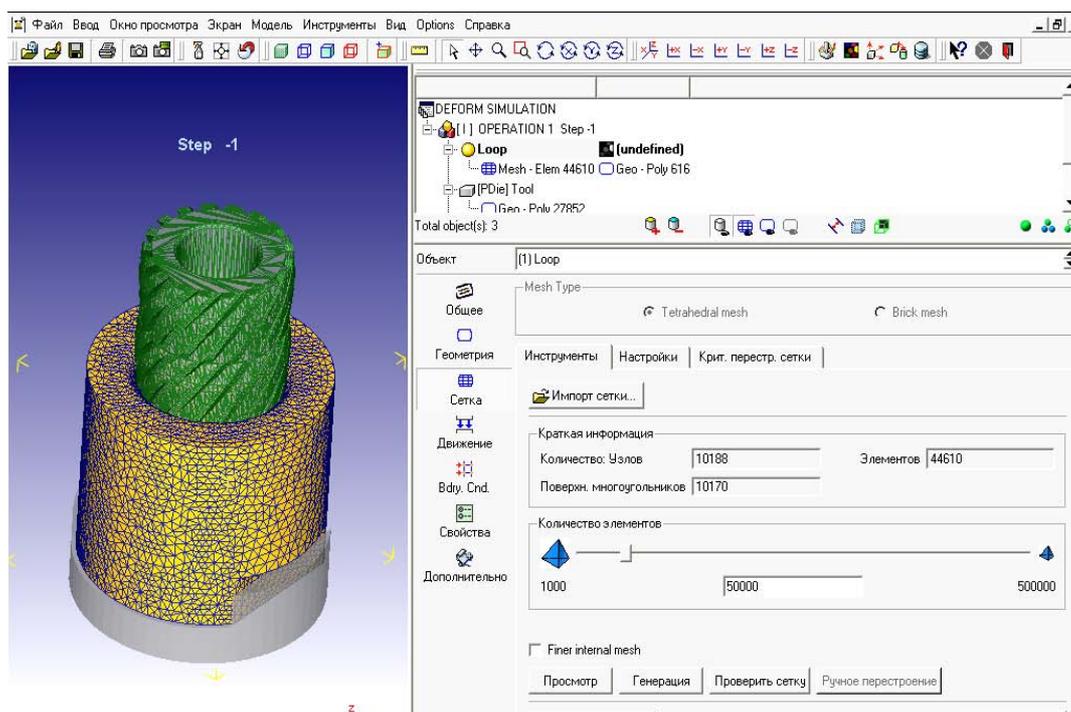


Рисунок 2 – Генерация сетки обрабатываемой детали

Из библиотеки материалов, задаем для обрабатываемой детали сталь 40, указываем критерий разрушения для стали 0,65. Производим позиционирование объектов и генерируем с погрешностью контакта 0,02 (рис. 3).

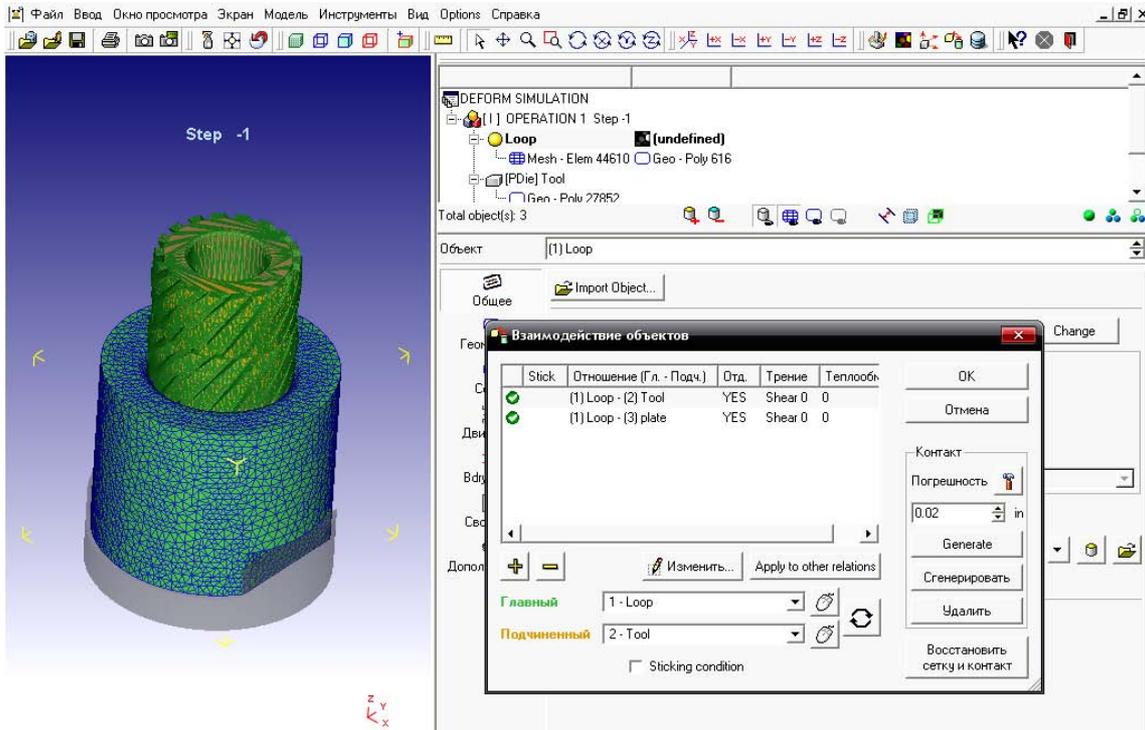


Рисунок 3 – Позиционирование объектов

Задаем движение для инструмента как функция зависимости силы от времени (рис. 4). Для детали и плиты указываем отсутствие перемещения, т.е. задаем перемещение 0.

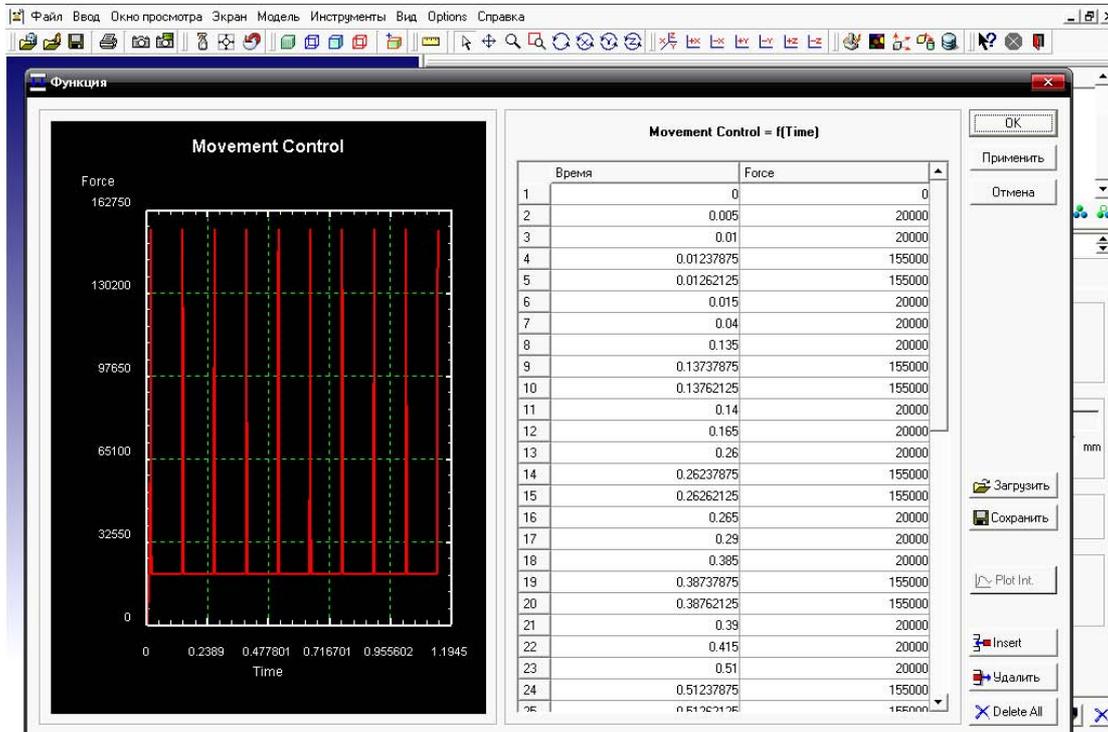


Рисунок 4 – Функция зависимости силы от времени

Генерируем базу данных и запускаем расчет. По завершении расчета в постпроцессоре можно проследить пошаговую обработку детали, определить напряжения в зоне обработки (рис. 5, 6).

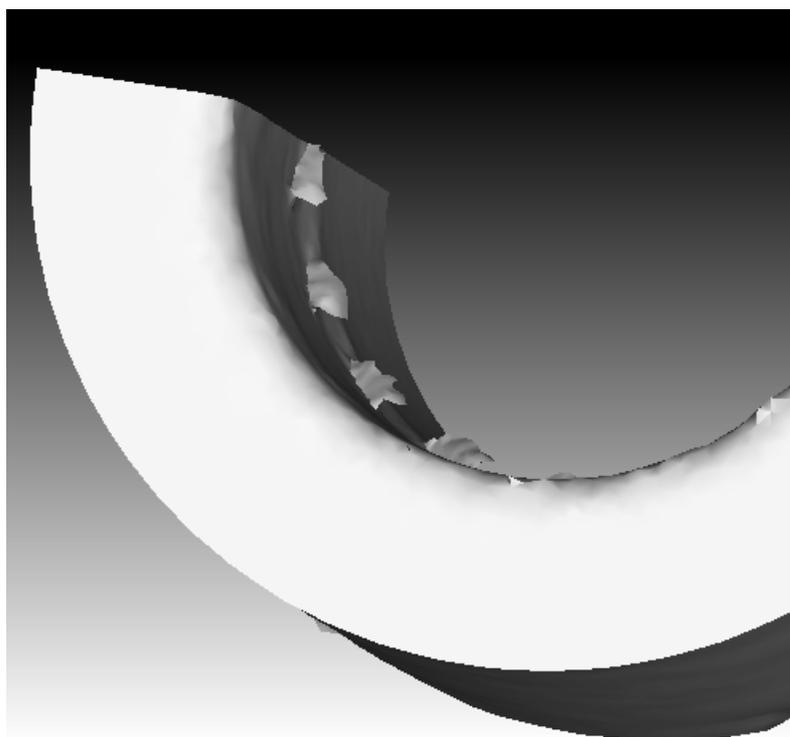


Рисунок 5 – образование стружки в процессе обработки

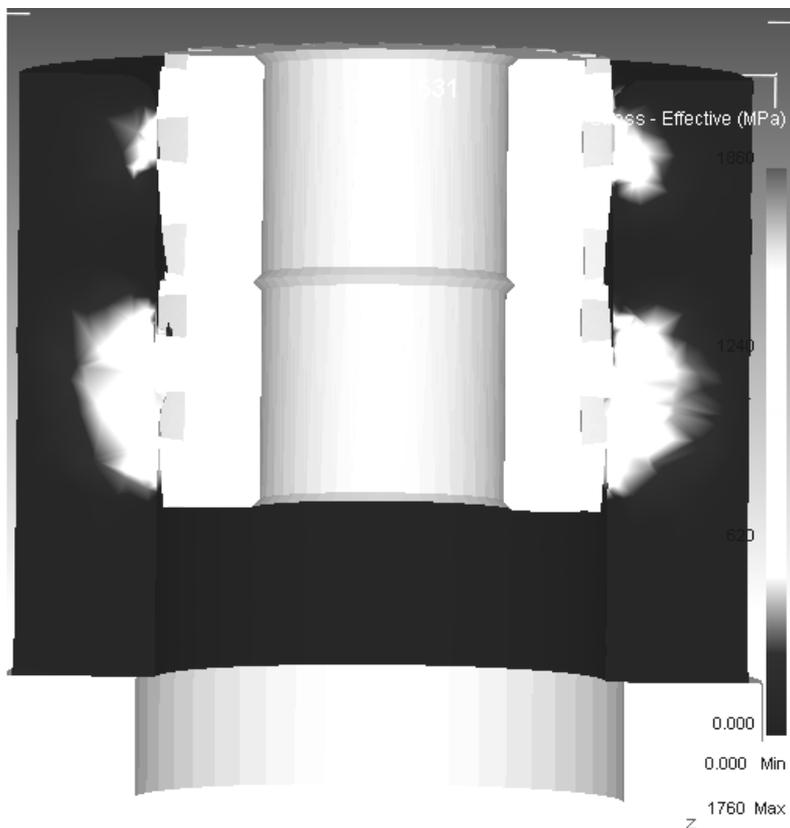


Рисунок 6 – Напряжения в зоне обработки

Таким образом, сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными свидетельствует о их достаточно высокой достоверности и позволяет сделать вывод о том, что пакет DEFORM 3D обеспечивает приемлемую точность при моделировании такого сложного процесса как статико-импульсная обработка отверстий деформирующе-режущими элементами с косоугольным резанием.

Использование пакета DEFORM 3D для моделирования процесса СИО позволит определить рациональную технологию обработки и конструкцию инструмента, обеспечивающее снижение напряжений в инструменте исключая возможность его преждевременного разрушения, существенно сократив объем дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек, А. В. Волновое нагружение деформирующе-режущих протяжек [Текст] / А. В. Киричек, В. В. Морин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 4-2/282. – 120 с.
2. Киричек, А. В. Перспективы повышения эффективности деформирующе-режущего протягивания статико-импульсным нагружением и эпиламированием инструмента [Текст] / А. В. Киричек, В. В. Морин, С. К. Амбросимов [и др.]. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – № 3-2/275. – 145 с.

Морин Владимир Валерьевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: valodyaka@yandex.ru

V.V. MORIN

METHODS OF MODELING DEFORM 3D STATIC-PULSE TREATMENT INTERNAL CYLINDRICAL SURFACE

This article discusses methods of modeling the process of the static-pulsed treatment of internal cylindrical surfaces deformin-cutting elements in modern software products on the example of DEFORM 3D.

Keywords: *static-pulsed treatment deformin-cutting element, Deform 3D.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kirichek A.V. Wave loading deformiruyusche-cutting broaches, A.V. Kirichek, V.V. Morin - Proceedings OreISTU. Machinery, 2010. - № 4-2/282 - 120.
2. Kirichek A.V. Prospects of improving efficiency, cutting deformiruyusche pull static-pulsed loading and tool epilamirovaniem, A.V. Kirichek, V.V. Morin, S.K. Ambrosimov, M.F. Selemenev, K.F. Selemenev - Proceedings OreISTU. Machinery. , 2009. - № 3-2/275 - 145.

Morin Vladimir Valer'evich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: valodyaka@yandex.ru

А.В. ОНИЩЕНКО, П.С. РУБИН

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ АРОЧНЫХ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЁС РЕЗЦОВЫМИ ГОЛОВКАМИ С НУЛЕВЫМ УГЛОМ ПРОФИЛЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ.

Разработаны теоретические основы процесса обработки цилиндрических колёс с арочными зубьями резцовыми головками с нулевым углом профиля режущей кромки.

Ключевые слова: исходный контур, математическое отображение, арочные зубья, цилиндрические арочные зубчатые передачи, резцовая головка.

Применение цилиндрических зубчатых колёс с арочными зубьями является эффективным направлением повышения нагрузочной способности, долговечности и снижения уровня шума при работе зубчатых передач. Однако использование данных зубчатых передач ограничено из-за недостатка информации для потребителей по определению точности обработки, производительности, износостойкости инструмента и рекомендованных режимов резания.

В настоящее время известно несколько методов нарезания цилиндрических зубчатых колёс с арочными зубьями:

1) Резцовой головкой в форме развёртки зубчатой рейки по методу обката с единичным делением

2) Применение концевой фрезы

3) Применение комплекта резцовых головок

Применение резцовой головки с единичным делением не даёт возможности обеспечить нормального контакта зубчатой пары во всех осевых сечениях зуба. Это обусловлено тем, что применение трапецеидальной рейки с углом профиля, равным углу зацепления приводит к образованию постоянного эвольвентного профиля зуба в перпендикулярных ему сечениях, а в сечениях, перпендикулярных оси колеса, ширина зуба будет переменной. Для работы таких колёс в паре необходимо нарезание колеса с идентичным профилем во всех сечениях и обеспечить высокую точность при установке зубчатой пары.

Наиболее оптимальная геометрия зацепления обеспечивается при методах формообразования концевой фрезой и комплектом резцовых головок с нулевым профилем режущей кромки. В свою очередь применение концевых фрез значительно проигрывает применению комплекта резцовых головок по производительности и износостойкости режущего инструмента.

При методе формообразования комплектом резцовых головок зубонарезание производится на 4-х координатных фрезерных станках с ЧПУ и токарно-обрабатывающих центрах. При данном методе каждая резцовая головка обрабатывает свою область впадины арочного зуба: черновое прорезание впадины, обработка вогнутой стороны зуба, обработка выпуклой стороны зуба (рис. 2). При этом разделение обработки выпуклой и вогнутой поверхностей на две резцовые головки необходимо для того, чтобы формообразующая точка на вершине угла профиля инструмента в обоих случаях вращалась вокруг оси резцовой головки с одним и тем же радиусом. Что обеспечивает создание обката выпуклой и вогнутой стороны зуба по идентичным кривым. Данный метод позволяет при черновой обработке получить зубчатое колесо по 4 классу точности. Перед чистовой обработкой изделие подвергается закалке. После чего производится чистовая обработка 2 инструментами обрабатывающими вогнутую и выпуклую стороны зуба. В результате данной обработки получается изделие с параметрами точности порядка 6 класса точности и шероховатостью $R_z=0,3...0,4$, HRC=58-60. Потеря точности обусловлена отжигом резцов, в результате изменения твёрдости и прочности материала.



Рисунок 1 - Цилиндрическая передача с арочными зубьями.

Однако для подробного изучения данного способа в плане зависимости по точности, шероховатости, производительности и износостойкости, необходимо провести математические исследования кинематической зависимости движения режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности арочного зуба.

При определении зависимостей, отображающих процесс формообразования, было

сделано следующее допущение: заготовка неподвижна, а начало координат расположено в ее центральном поперечном сечении таким образом, чтобы ось OY совпадала с началом эвольвенты выпуклой стороны зуба. При неподвижной заготовке все необходимые для формообразования впадины движения совершает инструмент. Обкат происходит по делительной окружности колеса без скольжения.

Были приняты следующие обозначения (рис. 4):

ψ – угол между осью OY и линией, проходящей через середину зуба инструмента, обрабатывающего данную впадину колеса в любом его положении;

φ – угол поворота зуба резцовой головки в плоскости XZ ;

Δ – параметр режущей кромки (ширина).

b – ширина зубчатого венца колеса.

r_{b1} – радиус начальной окружности;

r – радиус делительной окружности;

r_a – радиус вершины зуба;

r_o – радиус окружности формообразующей точки.

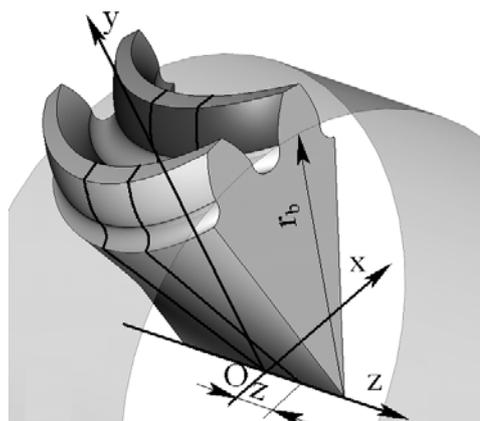


Рисунок 2 - Положение центрального поперечного сечения и сечения со смещением.

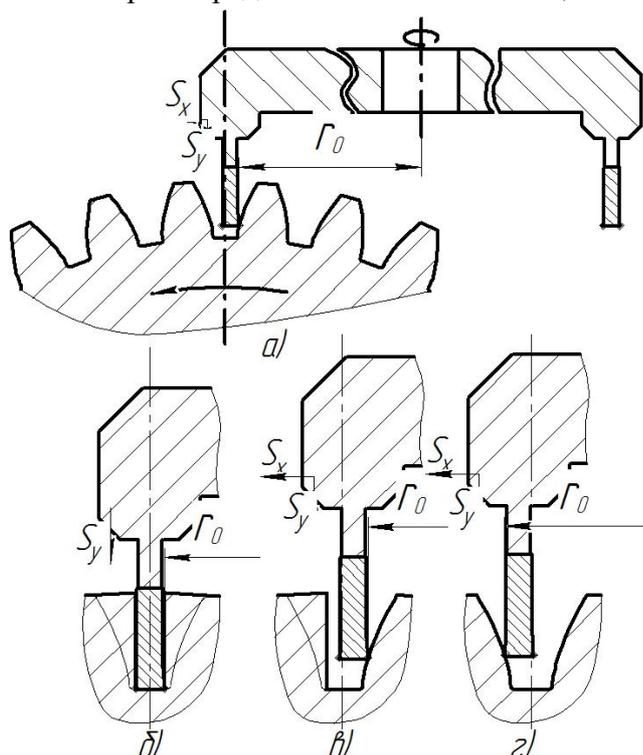


Рисунок 3 – Схема обработки арочных зубьев резцовыми головками нулевого профиля с последовательной сменой инструмента.

a – общий вид, b – прорезание впадины, $в$ – обработка выпуклой стороны зуба, $г$ – обработка вогнутой стороны зуба.

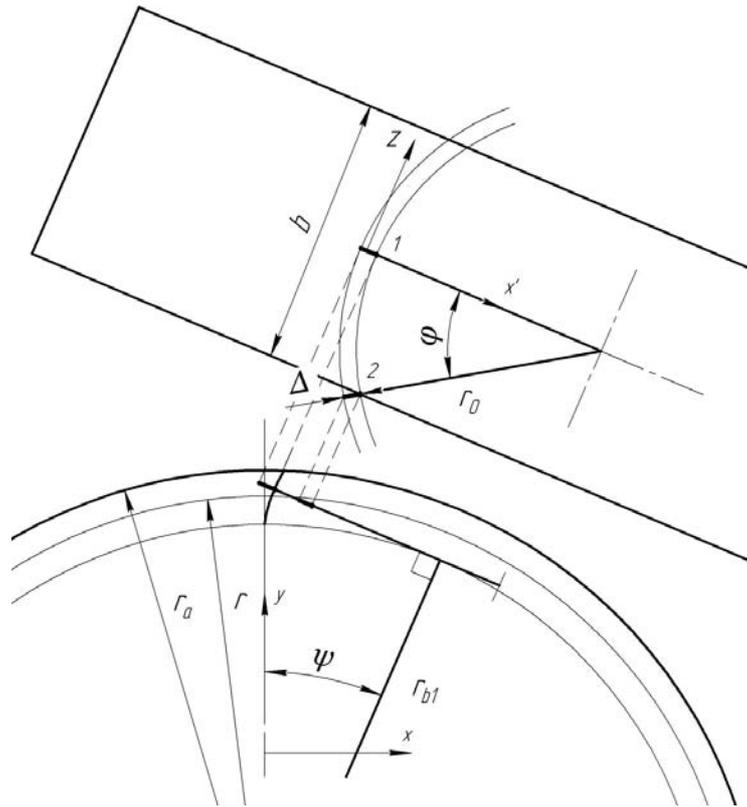


Рисунок 4 - Схема расчета математического отображения процесса резания.

В общем виде математическое отображение схемы резания можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= f(\psi; \varphi; \Delta h) \\ Y &= f(\psi; \varphi; \Delta h) \\ Z &= f(\psi; \varphi; \Delta h) \end{aligned}$$

Выведение математической зависимости производится посредством следующих итераций:

1) Уравнение эвольвенты в системе координат XOY:

$$\begin{aligned} X &= r_{b_1} \cdot \sin \psi - r_{b_1} \psi \cdot \cos \psi \\ Y &= r_{b_1} \cdot \cos \psi + r_{b_1} \psi \cdot \sin \psi \end{aligned}$$

2) Поворот формообразующей точки вокруг оси режущего инструмента на угол φ с радиусом r_0 :

$$\begin{aligned} X &= r_{b_1} \cdot \sin \psi - [r_{b_1} \psi - r_0(1 - \cos \varphi)] \cdot \cos \psi \\ Y &= r_{b_1} \cdot \cos \psi + [r_{b_1} \psi - r_0(1 - \cos \varphi)] \cdot \sin \psi \\ Z &= r_0 \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

3) Введение параметра режущей кромки Δ :

$$\begin{aligned} X &= r_{b_1} \cdot \sin \psi - [r_{b_1} \psi + \Delta \cdot \cos \varphi - r_0(1 - \cos \varphi)] \cdot \cos \psi \\ Y &= r_{b_1} \cdot \cos \psi + [r_{b_1} \psi + \Delta \cdot \cos \varphi - r_0(1 - \cos \varphi)] \cdot \sin \psi \\ Z &= (r_0 + \Delta) \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

Полученная математическая модель позволяет получать контур арочных зубьев с эвольвентным профилем в любых осевых сечениях, движения в процессе формирования, а также установить связь между параметрами скорости, подачи и режущей кромки. В дальнейшем развитие предложенной схемы резания позволит прогнозировать значения сил резания

при обработке зубчатого колеса для любых начальных параметров, точность при известной жесткости технологической системы, а также шероховатость обрабатываемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паршин, А.Н. Разработка методов анализа, синтеза зацепления и изготовления арочных цилиндрических зубчатых колес [Текст] / А. Н. Паршин : Дис. ... канд. техн. наук – М. : 2008. – 160 с.
2. Пат. 2404030 РФ. Способ изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / В. Д. Плахтин, И. Г. Панков, А. П. Давыдов, Р. Б. Марголит, А. Н. Паршин, С. И. Липатов. – Приоритет изобретения 16.04.2009 №2009114308 ; Оpubл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
3. Полохин, О. В. Исследование и проектирование процесса зубонарезания инструментами червячного типа [Текст] / О. В. Полохин, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 148 с.

Онищенко Александр Владимирович

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Мценск
Студент кафедры «Технология машиностроения»
Тел: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: xxx_white76@mail.ru

Рубин Павел Сергеевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Магистрант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: paulus_rub@mail.ru

A.V. ONISHCHENKO, P.S. RUBIN

WORKING OUT OF MATHEMATICAL MAP OF THE CIRCUIT OF CUTTING OF ARCHED TEETHS OF CYLINDRICAL GEARS BY TOOL HEADS WITH THE ZERO ANGLE OF THE PROFILE OF THE ACTIVE FACE

The theoretical fundamentals of process of handling of cylindrical gears with arched teeths tool heads with a zero angle of a profile of an active face are developed.

Keywords: *an initial head loop, mathematical representation, arched teeths, cylindrical arched gearings, the tool head.*

BIBLIOGRAPHY

Onishchenko Aleksandr Vladimirovich

The student of the Department «Technology of Machine Building»
Science Branch of Mtsensk FSBEI HVT «State University – ESPC»
Phone: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: xxx_white76@mail.ru

Rubin Pavel Sergeevich

The M.Eng. of the Department «Technology of Machine Building and Design Technology Computer Science»
Polikarpov Technological Institute FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Phone: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: paulus_rub@mail.ru

В.В. САВВИН, А.Н. АФОНИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ ПОД НАКАТЫВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ РЕЗЬБЫ С ПОМОЩЬЮ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Авторами статьи разработана методика определения диаметра заготовки под накатывание трапецеидальной резьбы с помощью системы твердотельного моделирования T-FLEX CAD и встроенных функций вычисления объема пространственных тел сложной геометрии

Ключевые слова: Накатывание трапецеидальной резьбы, диаметр заготовки под накатывание; твердотельное моделирование; вычисление объема пространственных тел

От правильного выбора диаметра отверстия зависит точность по среднему и внутреннему диаметрам и прочность получаемой резьбы, характер процесса формирования профиля резьбового витка. Диаметр заготовки влияет также и на стойкость резьбонакатного инструмента. При заниженном диаметре заготовки резьба будет иметь после накатывания неполный профиль; напротив при завышенном диаметре переполнение металлом впадин витков резьбонакатного инструмента приведет к его поломке. Это обстоятельство особенно значимо при обработке резьб в заготовках из труднообрабатываемых и предварительно упрочненных материалов, для которых схема деформирования с замкнутым контуром неприменима.

Выбор диаметра заготовок под накатывание для треугольных резьб подробно описан в работах [1—4].

В настоящее время известны формулы для расчета диаметра заготовок под накатывание наружных и внутренних резьб с треугольным профилем [1], расчет диаметра под накатывание при комбинированной режущо-деформирующей обработке трапецеидальных резьб весьма затруднителен.

В таких случаях диаметр заготовок приходится выбирать экспериментальным путем, с помощью многочисленных пробных накатываний, что приводит к значительным затратам времени и средств.

Раскатывание резьбы есть процесс пластической деформации металла, на который распространяется один из основных законов пластической деформации твердых тел — условие постоянства объема до и после деформации. Задача определения диаметра заготовки под накатывание резьбы сводится к определению объема металла, выдавливаемого из впадин резьбы в выступы. Представляется целесообразным использовать для ее решения возможности современных САД-систем, которые позволяют создавать 3D-модели пространственных тел [3].

При создании 3D-модели воспользуемся следующими допущениями, общепринятыми при аналитических расчетах диаметра заготовки.

1. Объемы металла до и после пластической деформации равны. В реальности объем металла при пластической деформации несколько увеличивается из-за роста плотности дислокаций. Однако данное увеличение не превышает нескольких десятых долей процента и им можно пренебречь.

2. Удлинение заготовки незначительно. Поперечное течение металла превышает продольное, что характерно при накатывании центральных витков гайки.

3. Форма кратера эллипсообразная, исходя из полученных в результате моделирования накатывания внутренней трапецеидальной резьбы методом конечных элементов в системе Deform (рис. 1) Известно, что при накатывании треугольных резьб вершина кратера имеет форму треугольника. При накатывании трапецеидальных резьб форма кратера будет эллипсообразной, поскольку возрастает количество металла, которое выдавливается из зоны раскатывания.

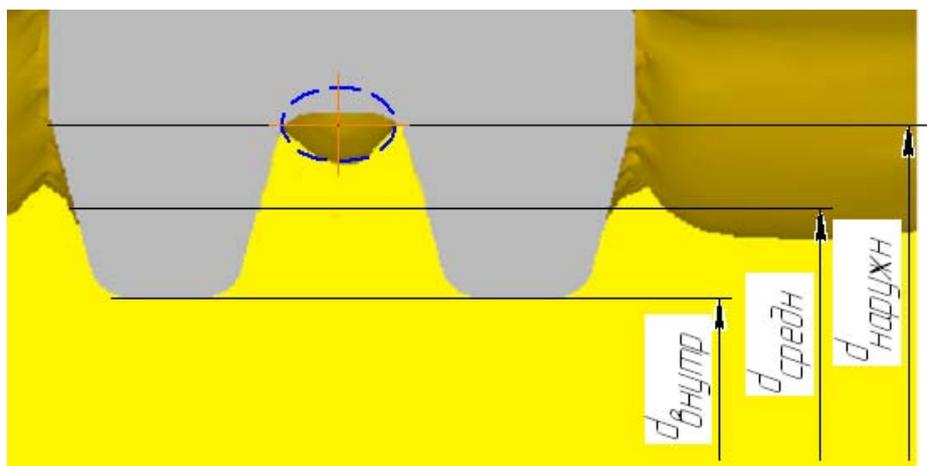


Рисунок 1 - Эллипсообразный кратер на вершине витка резьбы.

Для расчета диаметра под накатывание трапецеидальной резьбы рассмотрим предельные случаи:

1. При раскатывании кратер получает форму полукруга.

2. Раскатывание с замкнутым контуром. Применение данного типа схемы деформирования невозможно поскольку возникают значительные нагрузки, что приведет к снижению их стойкости инструмента и возможности его поломки

Была создана новая 3D-модель и открыто в ней 2D-окно, в котором изображены параметрические профили впадин и выступов накатываемой резьбы (рис. 2, а) в осевом сечении, горизонтальной границей между которыми служит диаметр d_{3ar} заготовки, задаваемый в первом приближении произвольно.

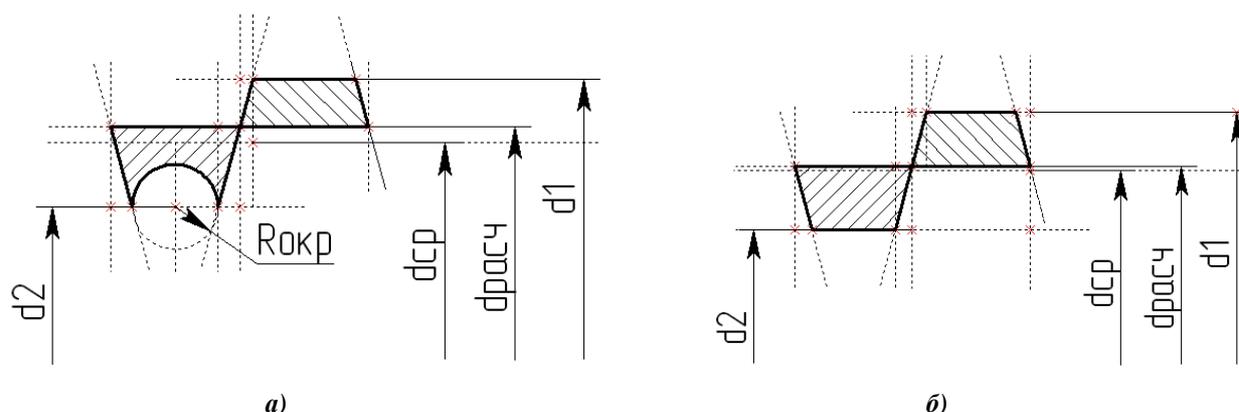


Рисунок 2 – параметрические профили впадин и выступов накатываемой резьбы
а - профиль с максимально большим кратером; б – профиль при накатывании с замкнутым контуром

С использованием данных 2D-профилей в 3D-окне были созданы соответствующие параметрические профили и построены для каждого из них отдельные твердые тела — спирали, имеющие один виток с шагом, равным шагу накатываемой резьбы, и соответствующие объемам металла, выдавливаемого из впадин и вытесняемого в выступ (рис. 3).

У спирали, соответствующей объему металла, вытесняемого в выступ, наружный диаметр равен наружному диаметру накатываемой резьбы, а внутренний — диаметру заготовки. Для спирали, соответствующей объему металла, выдавливаемого из впадины, наружный диаметр равен диаметру заготовки, а внутренний — внутреннему диаметру резьбы. В соответствии с принятыми допущениями объемы этих спиралей должны быть равны между собой.

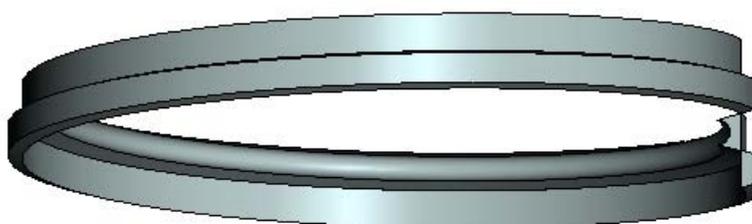


Рисунок 3 – Твердотельная модель впадины и выступа резьбы

Воспользуемся встроенной функцией измерения объема твердых тел T-Flex CAD 3D, с помощью ее определим диаметр заготовки под накатывание резьбы путем достижения равенства объемов созданных спиралей. С помощью команды “Провести измерения” можно создать переменные V_1 и V_2 равные соответственно объему металла, вытесняемому в выступ резьбы, и объему, выдавливаемому из впадины, а затем создать вспомогательную переменную $dV = (V_1 - V_2)$.

Для подбора диаметра заготовки, обеспечивающего равенство объемов V_1 , и V_2 , используем команду “Оптимизировать модель”. Для этого в диалоговом окне “Задания на оптимизацию” определяем способ подбора диаметра заготовки, обеспечивающего выполнение условия минимизировать dV . Интервал изменения диаметра заготовки составляет $d_2 < d_{расч} < d_1$. В качестве алгоритма подбора диаметра заготовки выберем метод дихотомии, поскольку он является самым простейшим из методов уточнения корней с помощью половинного деления, и предназначен для нахождения корней уравнений, представленных в виде $f(x)=0$. Так как переменная dV является функцией только одной переменной $d_{расч}$ получаем для рассматриваемого примера $d_{расч}$. Погрешность расчета характеризует величина dV , которая изменится после оптимизации.

Для определения диаметра заготовки при накатывании с замкнутым контуром построим 3D спирали по профилю, соответствующему данной схеме деформирования (рис 2, б) проведем оптимизацию для данной модели.

Искомый диаметр под накатывание получим из величин диаметра рассчитанного по схеме накатывания с замкнутым контуром и предельного случая, при котором кратер имеет форму полукруга:

$$d_{çää} = d_{ääñ-1} - \left| \frac{d_{ääñ-2} - d_{ääñ-1}}{2} \right|$$

где $d_{расч1}$ - диаметр в случае, при котором кратер имеет форму полукруга
 $d_{расч2}$ - диаметр в случае при накатывании с замкнутым контуром

Рассчитанный диаметр заготовки под накатывание использовался при моделировании процесса накатывания внутренней трапецидальной резьбы МКЭ DEFORM. Полученные в результате моделирования формы кратера на поверхности витка резьбы представлена на рисунке 4.

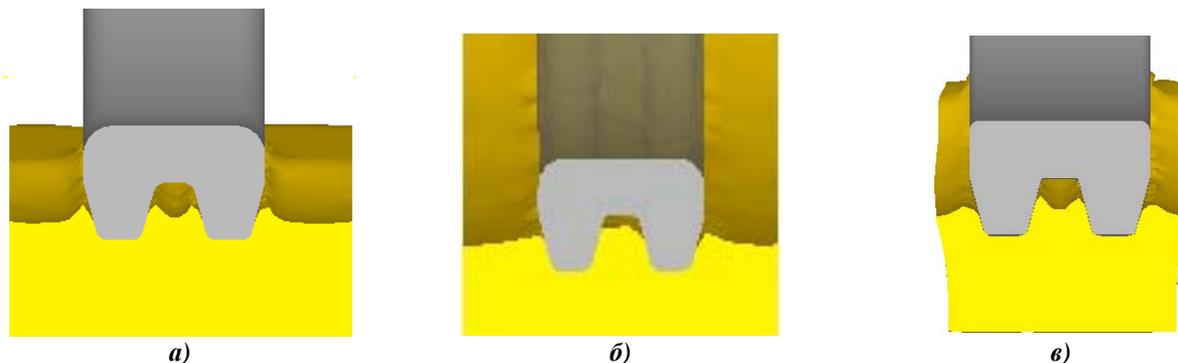


Рисунок 4 – Модель процесса деформирования внутренней трапецидальной резьбы МКЭ DEFORM

а – модель раскатывания резьбы Tr10H1; б – модель раскатывания Tr30H1; в – модель раскатывания Tr30H3

Форма кратера зависит от механических свойств материала заготовки, коэффициента трения, кратности воздействия, шага резьбы. Выявление реальной формы кратера и его размеров для данного материала заготовки требует проведения натурального эксперимента.

Предлагаемая методика благодаря использованию вычислительных возможностей САД-систем среднего и высшего уровней позволяет рассчитать диаметры заготовок под накатывание внутренних трапецеидальных резьб путем сравнительно простых геометрических построений на компьютере, не прибегая к методам дифференциальной геометрии и топологии. Однако, как и все современные методики, основанные только на геометрических построениях, она не позволяет учесть все факторы, влияющие на процесс накатывания, а именно, упруго-пластические свойства материала заготовки, жесткость технологической системы и т. д.

Поскольку данная методика является более простой чем традиционные эмпирические и аналитические методики определения диаметров заготовки под накатывание внутренних резьб, эта особенность позволяет сократить время расчета и упростить разработку технологического процесса накатывания внутренних трапецеидальных резьб. Гибкость, благодаря параметризации при построении модели, позволяет применять данную методику для широкого диапазона накатываемых резьб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков, В. М., Бесстружечные метчики. [Текст] / В. М. Меньшаков, Г. П. Урлапов, В. С. Серeda. – М. : Машиностроение. 1976. – 167 с.
2. Рыжов, Э.В. Раскатывание резьб [Текст] / Э. В. Рыжов, Е. С. Пуховский, С. С. Добрянский. – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.
3. Киричек, А. В. Определение диаметра заготовок под накатывание резьбы с помощью систем 3D моделирования. [Текст] / А. В. Киричек, А. Н. Афонин // СТИН. – 2005. – № 6. – С. 28-30.
4. Шолом, В. Ю. Разработка методологии определения триботехнических характеристик и выбора СОТС при проектировании технологических процессов металлообработки [Текст] / В. Ю. Шолом : Дис. ... д-р техн. наук – Уфа н/Д, 2001. – 387 с.

Саввин Вячеслав Викторович

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант кафедры ТМиКТИ
Тел. (4862) 541503
E-mail: savvin@email.ru

Афонин Андрей Николаевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Д-р техн. наук, профессор
Кафедра «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862)54-15-03
E-mail: af@au.ru

V.V. SAVVIN, A.N. AFONIN

DETERMINATION BY DIAMETER BLANKS OF INTERNAL TRAPEZOIDAL THREAD ROLLING WITH 3D MODELING

The authors developed a method of determining the diameter of the workpiece under the trapezoidal thread rolling with the help of solid modeling T-FLEX CAD and built-in functions for computing the volume of space bodies of complex geometry.

Keywords: Trapezoidal thread rolling, a rolling diameter of the workpiece, solid modeling, the calculation of spatial bodies

BIBLIOGRAPHY

1. Menshakov, V.M. Chipless taps. [Text] / V.M. Menshakov, G.P. Urlapov, V.S. Sereda - M: Mechanical Engineering. In 1976. - 167 p.
2. Ryzhov, E.V. Thread rolling [Text] / E.V. Ryzhov, E.S. Pukhovsky, S.S. Dobriansky. - Moscow: Mashinostroenie, 1979. - 176 p.

3. Kirichek, A.V. Determination diameter billets for rolling threads with 3D modeling systems. [Text] / A.V. Kirichek, A.N. Afonin, / STIN, 2005, № 6. - S. 28-30.

4. Sholom, V.Y. Development of methodology for determining the tribological characteristics and selection of COTS in the design process of metal [Text]: Dis. ... Dr. Technical. Science / Sholom V.Y...: Ufa N / A, 2001. - 387 p.

Savvin Vyacheslav Viktorovich

Polikarpov Technological Institute FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Postgraduate of faculty «Mechanical engineering and Design-technology computer science»

Phone (4862)54-15-03

E-mail: savvin@email.ru

Afonin Andrey Nikolayevich

Polikarpov Technological Institute FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Dr. of Technical Sciences, Professor

Department «Mechanical engineering and design-engineering informatics»

Phone (4862) 54-15-03

E-mail: af@au.ru

УДК 536.4

О.О. СОКОЛОВА, Н.А. ТРУФАНОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛИТКА

Рассмотрены этапы технологии изготовления стального слитка - заполнение изложницы расплавом и охлаждение расплава в ней. Сформулирована математическая модель сопряженных гидродинамических и тепловых процессов в изложнице и слитке. Задача решена в трехмерной постановке с привлечением численных методов. Проведен анализ результатов вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: численное моделирование, литье, затвердевание слитка, изложница, технология.

Изготовление высококачественных металлических слитков без дефектов структуры является главной целью металлургического производства. Хорошо известно, что структура литого изделия во многом зависит от характера протекания процесса затвердевания, когда закладываются основные физико-химические свойства отливки [1]. Формирование макро-структуры слитка определяется, в первую очередь, технологическими режимами заливки и охлаждения расплава в форме, а также конструктивными особенностями изделия (конусность слитка, отношение высоты слитка к его диаметру). Большинство реальных прикладных задач невозможно решить аналитически, без привлечения современной вычислительной техники и численных методов, а проведение экспериментов трудозатратно и дорогостояще. Поэтому именно компьютерное моделирование становится эффективным способом контроля технологии и управления литейными процессами.

За последнее время был опубликован ряд работ, посвященных численному моделированию затвердевания слитков [2-8]. Например, в работе Черногоровой и Вабищевича [2] в двумерной постановке решена задача кристаллизации бинарного сплава, затвердевающего в цилиндрической металлической форме. Для переходной твердожидкой зоны в температурном интервале (T_S, T_l) использована равновесная модель. Конвективным потоком расплавленного металла в данной модели пренебрегли.

Gu и Beckermann [3] численно смоделировали конвекцию в жидком расплаве металла и макросегрегацию при образовании литой структуры. Модель, основанная на кристаллизации многокомпонентного сплава с учетом конвекции, предполагала совместное решение уравнений, описывающих переносные процессы в твердой, твердожидкой и жидкой фазах. Макросегрегация также исследовалась в [4-5].

В работах [7,8] были представлены результаты оптимизации конструкции изложницы при изготовлении массивного слитка. В [9] использовалась трехмерная модель крупного слитка массой 142т. Было отмечено влияние свободной конвекции на температурные поля в расплаве и качество литой структуры.

Несмотря на большое количество исследований, посвященных компьютерному моделированию литейных технологий, лишь в немногих работах [10] делается попытка моделирования связанных тепловых и гидродинамических задач с учетом турбулентных режимов течения жидкости.

В данной работе выполняется математическое моделирование этапов технологии изготовления крупногабаритного стального слитка - заполнения изложницы расплавом с учетом турбулентности и охлаждения расплава металла после заполнения. Проводится анализ тепловых, гидродинамических и массообменных процессов в изложнице и затвердевающем слитке.

Описание технологии производства слитка

Обычно процесс производства слитков можно условно разделить на два этапа: разливку и затвердевание расплава.

В рассматриваемом сталеплавильном производстве жидкую сталь из ковша разливают в изложницы. Разливка производится сифонным способом: сталь из ковша заливают в центровую литниковой системы, затем она по каналам в поддоне поступает снизу в изложницы. Такой способ позволяет одновременно заполнять металлическим расплавом несколько изложниц.

Сифонная разливка имеет ряд преимуществ перед разливкой сверху [11]. Во-первых, одновременная отливка нескольких слитков сокращает длительность разливки плавки и позволяет разливать в мелкие слитки плавки большой массы; во-вторых, вследствие сокращения общей длительности разливки скорость подъема металла в изложнице может быть значительно меньшей, чем при разливке сверху; в-третьих, поверхность слитка получается чистой, так как металл в изложницах поднимается спокойно без разбрызгивания; в-четвертых, во время разливки можно следить за поведением поднимающегося металла в изложнице и в соответствии с этим регулировать скорость разливки. Недостатки метода, в основном, связаны с затратами на дополнительное оборудование и его установку (сифонный кирпич, литники, сборка поддонов и центровых) и с необходимостью нагрева металла в печи до более высокой температуры, чем при разливке сверху, так как он дополнительно охлаждается в каналах сифонного кирпича.

Как правило, сифонным способом отливают слитки небольшой массы, поскольку при сифонной отливке массивных слитков вероятность развития усадочных дефектов в осевой части слитка возрастает.

Вторая стадия получения слитка – затвердевание жидкого металла в форме. Как отмечалось выше, структура, образующаяся в процессе затвердевания, определяет многие свойства изделия. Поэтому на этой стадии важно получить однородный по химическому составу, механическим и физическим свойствам, а также не содержащий значительных дефектов металл.

Формирование структуры происходит в двухфазной зоне, представляющей собой гетерогенную зону из растущих кристаллов с окружающим расплавом. Средний размер кристаллов прямо пропорционален ширине этой зоны, которая, в свою очередь, обратно пропорциональна отводимому потоку тепла. Теплофизические явления, происходящие в двухфазной зоне, включают взаимосвязанные процессы тепломассопереноса, фильтрацию расплава в междендритном пространстве, формирование растущих кристаллов.

Концептуальная и математическая постановка задачи

На первой стадии процесса изготовления слитка исследуется гидродинамический режим заполнения формы с учетом и без учета турбулентности: циркуляция жидкого металла и температурное поле на форме и слитке на момент окончания заливки; на второй

стадии проводится анализ условий теплообмена при дальнейшем охлаждении слитка в форме с учетом и без учета естественной конвекции расплава.

Объект моделирования – слиток массой 6 тонн, который отливают из конструкционной стали в форму из серого чугуна (химический состав стали приведен в таблице 1). Температура окружающей среды 20°C , форма предварительно разогрета до 100°C . Температура заливки составляет 1575°C . Массовая скорость заливки $1,87 \text{ кг/с}$. Время выдержки слитка в изложнице 3 часа.

Таблица 1 – Химический состав стали

C	Cr	Mo	V	Mn	Si	Ni
0,38	0,99	0,16	0,01	0,64	0,23	0,08

Геометрические характеристики слитка: отношение высоты к диаметру 2,7; конусность слитка на одну сторону 9%; характерные размеры слитка: нижний диаметр 620 мм, верхний диаметр 790 мм, высота слитка с прибыльной частью 2270 мм. Конечно-элементная модель расчетной области состоит из нескольких областей: изложницы, поддона, прибыльной надставки, теплоизоляционного вкладыша и самого тела слитка (рис. 1). В силу симметрии выделена одна восьмая часть слитка. Количество элементов в такой модели составляет около 45 тысяч, из них 28,5 тысяч в области, терпящей фазовый переход.

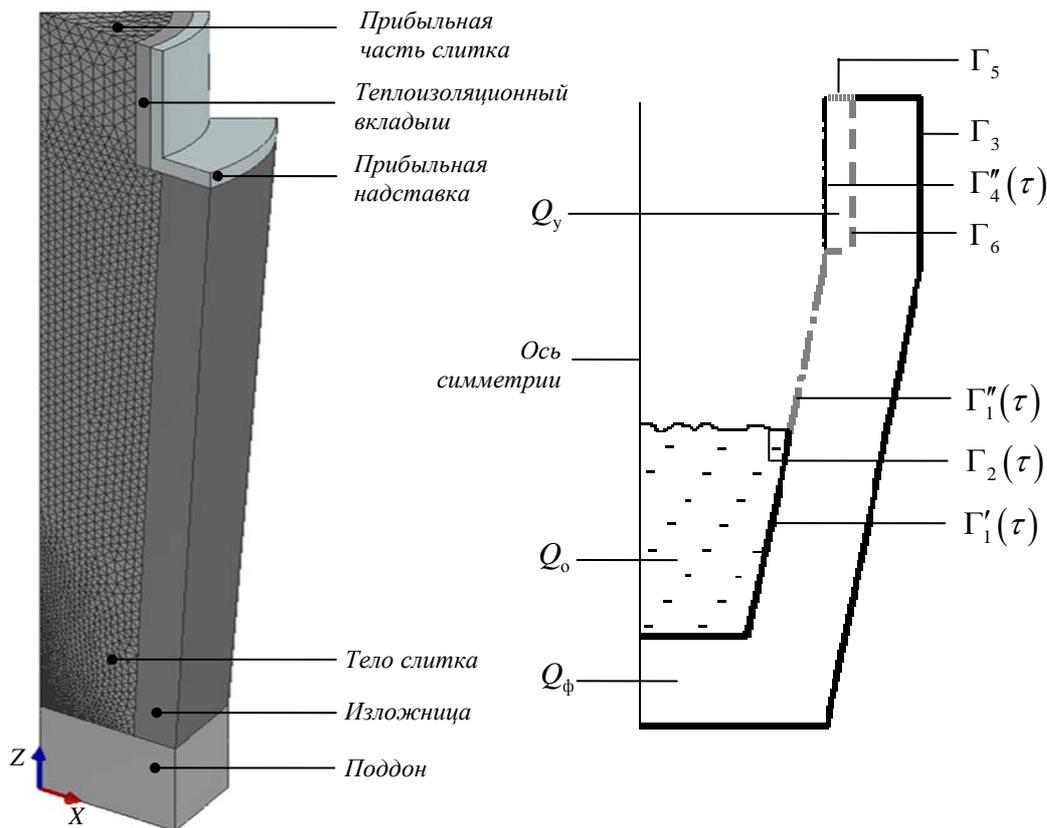


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель и схема расчетной области

Пусть индексы о, ф, у, с соответствуют области отливки, формы, утепляющего вкладыша, окружающей среды. В области Q_0 рассматривается неизотермическое течение несжимаемой жидкости. Используется однофазный подход. Граница раздела фаз явным образом не выделяется. Система уравнений (1)-(5) в декартовой системе координат является основной для моделирования течения вязкой жидкости в области Q_0 с учетом турбулентно-

сти в условиях фазового перехода. Неизвестными величинами являются температура T , скорость \mathbf{v} , давление p , турбулентная энергия k и скорость диссипации энергии ε . Теплофизические свойства жидкости зависят от температуры. Система дополняется граничными и начальными условиями.

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau} + \frac{\rho}{2} \operatorname{grad}(\mathbf{v}^2) + 2\rho(\operatorname{rot}(\mathbf{v}) \times \mathbf{v}) = -\operatorname{grad}(p) + (\operatorname{grad} \cdot (\mu + \mu_T) \operatorname{grad}) \mathbf{v} + \rho \mathbf{g} + \frac{\mu}{K} \mathbf{v} \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial H}{\partial \tau} + \rho \mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}(H) - \operatorname{div}[\lambda \operatorname{grad}(T)] = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho k \mathbf{v}) = \frac{1}{\sigma_k} \operatorname{grad}(\mu_T) \Delta k + \mu_T G - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho \varepsilon \mathbf{v}) = \frac{1}{\sigma_\varepsilon} \operatorname{grad}(\mu_T) + C_1 \mu_T \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta \rho k}{\sigma_\tau} \mathbf{g} \operatorname{grad}(T) \quad (5)$$

где ρ - плотность;

τ - время;

$\mathbf{g} = (0, 0, g)$ - ускорение свободного падения;

p - давление;

$\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ - вектор эффективной скорости расплава, рассчитываемый через истинную скорость жидкой фазы \mathbf{v}_l :

$$\mathbf{v} = f_l \mathbf{v}_l,$$

где f_l - доля жидкой фазы;

K - проницаемость дендритного каркаса по формуле Козени-Кармана [12]:

$$K = \frac{f_l^3}{Ka S_v^2},$$

где $Ka = 5$ - постоянная Кармана;

S_v - удельная поверхность твердой фазы (на единицу объема), в предположении, что частицы одинаковы по размеру и имеют сферическую форму:

$$S_v = \frac{6(1 - f_l)}{D},$$

где D - характерный размер дендрита;

μ - коэффициент молекулярной вязкости;

μ_T - коэффициент турбулентной вязкости:

$$\mu_T = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$$

где C_μ - эмпирическая константа $k - \varepsilon$ модели турбулентности;

k - турбулентная кинетическая энергия единицы массы;

ε - скорость диссипации кинетической энергии;

$H = \int_0^T c_p(T) dT + L[1 - f_s(T)]$ - энтальпия, в предположении, что теплота кристаллизации

выделяется внутри интервала кристаллизации, ограниченного равновесными температурами (T_s, T_l) ;

c_p - удельная теплоемкость;

L - удельная теплота фазового перехода;

f_s - доля твердой фазы;

T - температура;

λ - коэффициент теплопроводности;

G - диссипативный член;

β - модуль объемного расширения;

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_\tau, C_1, C_2, C_3$ - эмпирические константы $k-\varepsilon$ модели турбулентности [13]

В областях Q_y и Q_ϕ , не терпящих фазового перехода, решаются нелинейные уравнения (3) нестационарной теплопроводности (нелинейность возникает из-за заданных функциональными зависимостями теплофизических свойств тел) с соответствующими коэффициентами теплопроводности и граничными условиями по температуре. Энтальпия в данном случае принимает вид $H(T) = \int_0^T c_p(T) dT$.

Граничные условия

1)* Скорость на $\Gamma_1'(\tau)$ подчиняется логарифмическому закону распределения и зависит от вязкости.

2) $\sigma_z = -p^0$ на $\Gamma_2(\tau)$ - условие равенства нормальных напряжений давлению газа над свободной поверхностью p^0 . Кривизной свободной поверхности расплава пренебрегаем.

3) Пусть уравнение свободной поверхности имеет вид: $F(x, y, z, \tau) = z - \xi(x, y, \tau) = 0$, тогда

$\frac{dF(x, y, z, \tau)}{d\tau} = \frac{\partial F}{\partial \tau} + \mathbf{v} \cdot \text{grad}(F) = 0$ на $\Gamma_2(\tau)$ - в Эйлеровой форме условие продвижения свободной поверхности во времени и пространстве (используется для нахождения формы свободной поверхности).

*Примечание: На границе перехода от твердо-жидкой к абсолютно твердой фазе $\Gamma_{f_s}(\tau)$ скорость \mathbf{v} автоматически становится равной 0, поскольку $\mathbf{v} = f_i \mathbf{v}_i$, а $f_i = 0$ на $\Gamma_{f_s}(\tau)$.

4) $\lambda_\phi \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_o \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha_{o-\phi} (T_o - T_\phi)$ на $\Gamma_1'(\tau)$ - условия стыковки,

где n - нормаль к поверхности;

5) $\lambda_o \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha_{o-c} (T_o - T_c) - \tilde{\varepsilon} \sigma (T_o^4 - T_c^4)$ на $\Gamma_2(\tau)$,

где σ - постоянная Стефана-Больцмана,

$\tilde{\varepsilon}$ - степень черноты материала отливки;

6) $[T] = 0$ на $\Gamma_1''(\tau)$

7) $\lambda_\phi \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha_{\phi-c} (T_\phi - T_c) - \tilde{\varepsilon} \sigma (T_\phi^4 - T_c^4)$ на Γ_3

8) $\lambda_o \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_y \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha_{o-y} (T_o - T_y)$ на $\Gamma_4'(\tau)$

9) $[T] = 0$ на $\Gamma_4''(\tau)$

10) $\lambda_y \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha_{y-c} (T_\phi - T_c)$ на Γ_5

$$11) \lambda_{\phi} \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_y \frac{\partial T}{\partial n}, [T] = 0 \text{ на } \Gamma_6$$

Значения коэффициентов теплоотдачи α назначаются в соответствии с [14].

Начальные условия

- 1) Предполагается, что в начальный момент времени свободная поверхность является плоской и известно начальное распределение скоростей на ней: $v_x = v_y = 0$; $v_z = 1$ м/с.
- 2) В начальный момент времени температура в точках свободной поверхности $T = 1575^{\circ}\text{C}$.
- 3) $T = 100^{\circ}\text{C}$ в $Q_{\phi} \cup Q_y$

Линеаризация и численное решение полученной системы уравнений ведется средствами программного кода ProCAST.

Результаты моделирования

Для первого технологического этапа изготовления слитка получены температурные поля в расчетной области (рис. 2), картина распределения потоков расплава в слитке (рис. 3) и толщина твердой корочки, образовавшейся на стенках формы (рис. 4).

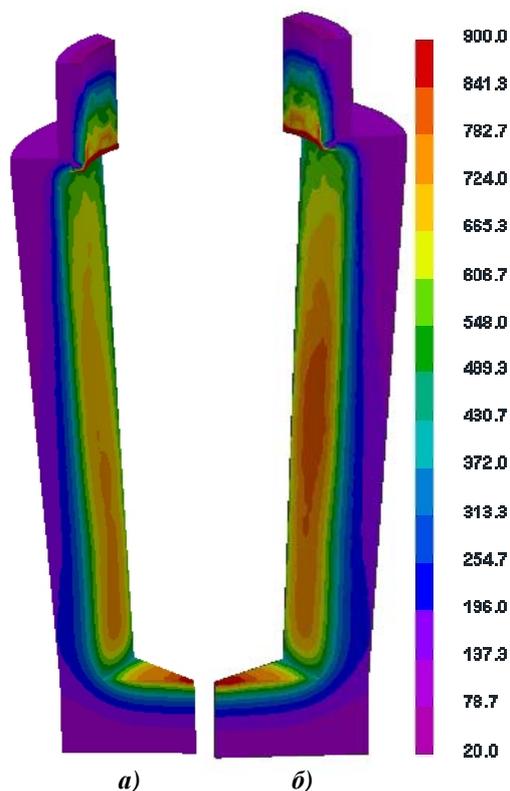


Рисунок 2 – Поле температур на оснастке в конце этапа заливки
 а) без учета турбулентности;
 б) с учетом турбулентности

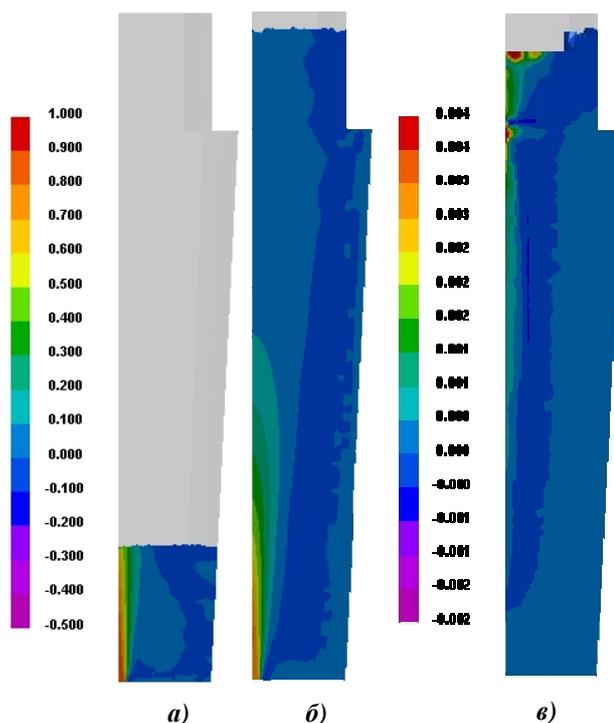


Рисунок 3 – Распределение скорости расплава с течением времени:
 а) 60 с; б) 360 с; в) 3000 с

Температура на внутренней поверхности формы при учете турбулентности на 50-70⁰С выше, чем без ее учета, сильнее разогревается поддон в зоне входного отверстия. Скорость циркуляции расплава при заливке составляет 0,8 – 1,2 м/с, постепенно снижаясь до величины 0,2-0,1 м/с. Турбулентные характеристики движения расплава наиболее значительны в первые 2-3 минуты: сеточное число Рейнольдса при скорости 1 м/с составляет 20000-80000. Отметим, что учет турбулентности почти не повлиял на скорость расплава вдоль оси Z - она осталась на том же уровне, что и в случае ламинарного движения. Однако изменился характер течения расплава вдоль стенок изложницы - течение стало более интенсивным, и за счет этого увеличилась толщина твердой корочки в этой зоне. Высота затопленной струи существенно не изменилась.

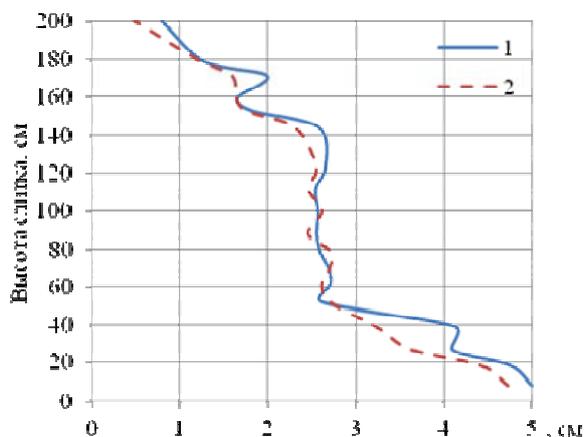


Рисунок 4 – Толщина твердой корочки на момент окончания заливки
 1 - с учетом турбулентности;
 2 - без учета турбулентности

Распределение усадочной пористости в расчетах с учетом турбулентной конвекции и без учета конвекции не выявило существенных отличий в макроструктуре слитка. Осевая усадочная пористость является неизбежной физической неоднородностью слитка и в пределах 1-1,5% устранима при последующей обработке.

В качестве результатов моделирования второго этапа представлено формирование твердой фазы с течением времени (рис. 5), температурное поле (рис. 6) и распределение усадочной пористости в конце процесса охлаждения слитка (рис. 7).

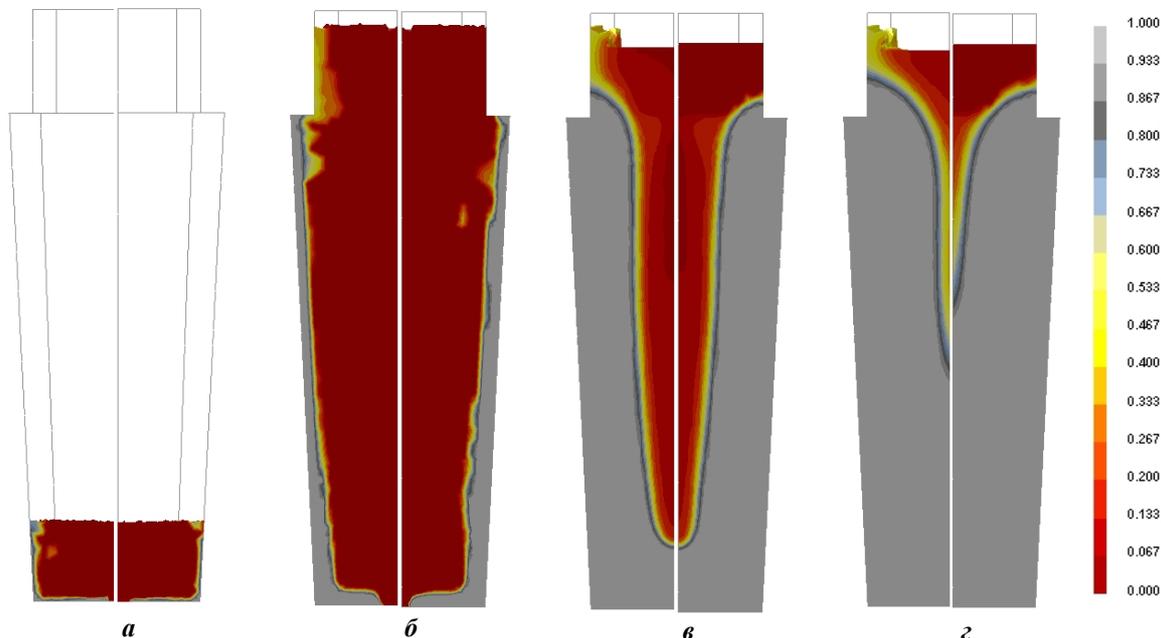


Рисунок 5 – Формирование твердой фазы в процессе охлаждения слитка в форме с течением времени
 серый цвет – абсолютно твердая фаза, красный – жидкая; слева - с учетом турбулентности, справа – без учета турбулентности: а - 40 с; б - 500 с; в - 3000 с; г - 5000 с

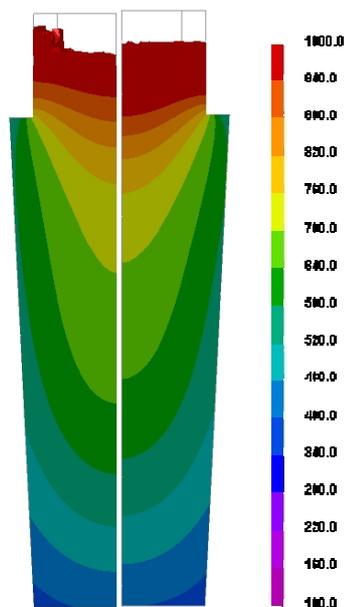


Рисунок 6 – Поле температур в конце этапа охлаждения:
слева - с учетом турбулентности, справа – без учета турбулентности

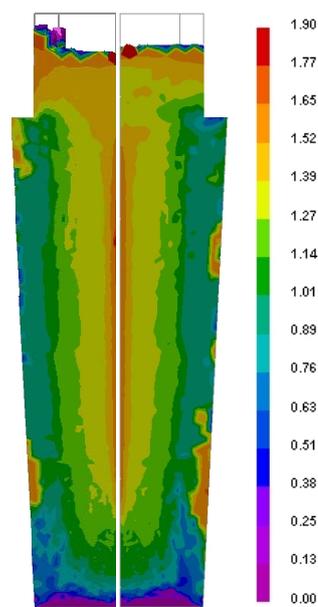


Рисунок 7 – Распределение усадочной пористости в конце этапа охлаждения:
слева - с учетом турбулентности, справа – без учета турбулентности

Заключение

Рассмотрены этапы технологии изготовления стального слитка – заполнение изложницы расплавом и охлаждение расплава в ней. Сформулирована математическая модель сопряженных гидродинамических и тепловых процессов в изложнице и слитке, в основе которой заложены закон сохранения массы текучей среды, уравнение баланса импульса, уравнение баланса энергии, где выделение теплоты затвердевания в твердо-жидкой зоне учитывается с помощью энтальпийного метода. Для учета турбулентности использована стандартная $k-\varepsilon$ модель. Построены дискретные аналоги реальных технологических процессов. Методом конечных элементов, который реализован в программном коде ProCAST, в трехмерной постановке решена поставленная задача. Представлены температурные поля на расчетной области, динамика образования твердой фазы с течением времени, распределение усадочной пористости в слитке. Анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что несмотря на высокие значения числа Рейнольдса в начальные моменты времени на этапе заливки учет турбулентного движения не приводит к существенным различиям в картине распределения усадочной пористости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 13.G25.31.0093 от 22.10.2010 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цаплин, А. И. Теплофизика внешних воздействий при кристаллизации стальных слитков на машинах непрерывного литья [Текст] / А. И. Цаплин. – Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 1995. – 238 с.
2. Chernogorova, T. P. Numerical investigation of solidification processes of cylindrical ingots in a metal mould at variable technological circumstances [Text] / T. P. Chernogorova, P. N. Vabishchevich // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1999. – №42. – p. 3351–3359.
3. Gu J. P. Simulation on convection and macrosegregation in a large steel ingot [Text] / J. P. Gu, C. Beckermann // Metal Mater Trans A. – 1999. – №30A. – p. 1357–1366.
4. H. Combeau Modeling of equiaxed grain evolution and macrosegregations development in steel ingots [Text] / H. Combeau, A. Kumar, M. Zaloznik // Trans ИМ. – 2009. – №62. – p. 285-290.
5. H. Combeau Prediction of macrosegregation in steel ingots : influence of the motion and the morphology of

- equiaxed grains [Text] / H. Combeau, M. Zaloznik, P. Hans, P.-E. Richy // Metal Mater Trans B. – 2009. – №40. – p. 289-304.
6. N. Ahmad Numerical simulation of macrosegregation : a comparison between finite volume method and finite element method predictions and a confrontation with experiments [Text] / N. Ahmad, H. Combeau, J.-L. Desbiolles, T. Jalanti, G. Lesoult, J. Rappaz, M. Rappaz, C. Stomp // Metal Mater Trans A. – 1998. – №29. – p. 617-630.
7. M. Balcar The development of a chill mould for tool steels using numerical modeling [Text] / M. Balcar, R. Zelezny, L. Sochor, P. Fila, L. Martinek // Materials and Technology. – 2008. – №42. – p. 183-188.
8. A. Kermanpur Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation [Text] / A. Kermanpur, M. Eskandari, H. Purmohamad, M. A. Soltani, R. Shateri // Materials and Design. – 2010. – №31. – p. 1096–1104.
9. Бройтман, О. А. Компьютерное моделирование процессов формирования крупных стальных кузнечных слитков [Текст] / О. А. Бройтман, А. В. Монастырский, И. А. Иванов [и др.] // Литейщик России. – 2011. – № 10. – С. 7-15.
10. Мелихов, В. М. Разработка рациональных параметров теплопереноса и гидродинамики при формировании слитков [Текст] / В. М. Мелихов // Вісник Донецького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 134-140.
11. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия [Текст] / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М. : Академкнига, 2005. – 768 с.
12. Ромм, Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород [Текст] / Е. С. Ромм. – Л. : Недра, 1985. – 240 с.
13. Launder, B. E. The numerical computation of turbulent flows [Text] / B. E. Launder, D. B. Spalding // Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering. – 1974. – №3. – p. 269-289.
14. ProCAST 2010 User's Manual ©2010 ESI Group

Соколова Ольга Олеговна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
Аспирант кафедры вычислительной математики и механики
E-mail: oos.prm@mail.ru

Труфанов Николай Александрович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
Д-р техн. наук, зав. кафедрой вычислительной математики и механики
E-mail: vmm@cpl.pstu.ac.ru

SOKOLOVA O.O., TRUFANOV N.A.

**SIMULATION STAGES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESSES
INGOT'S MANUFACTURING**

Two stages of the steel ingot manufacturing technology, which are filling metallic mould with melt and cooling it, are considered. A mathematical model of the integrated hydrodynamic and thermal processes in the mould and ingot is formulated. The problem is solved as three-dimensional with the aid of numerical procedures. The results of computational experiment are analyzed and discussed.

Keywords: numerical simulation, casting, ingot, solidification, mould, technology.

BIBLIOGRAPHY

1. Tsaplin A.I. Thermal Physics of External Effects at Steel Ingots Crystallization in Continuous Casting Machines.- Yekaterinburg: Publishing House of Urals Branch of RAS, pp. 238, 1995.
2. Chernogorova T.P., Vabishchevich P.N. Numerical investigation of solidification processes of cylindrical ingots in a metal mould at variable technological circumstances.//Int. J. of Heat and Mass Transfer, №42, 1999.
3. Gu J.P., Beckermann C. Simulation on convection and macrosegregation in a large steel ingot.//Metal Mater Trans A, 1999.
4. Combeau H., Kumar A., Zaloznik M. Modeling of equiaxed grain evolution and macrosegregations development in steel ingots.//Trans IIM, Vol.62, pp. 285-290, 2009.
5. Combeau H., Zaloznik M., Hans P., Richy P. Prediction of macrosegregation in steel ingots: influence of the motion and the morphology of equiaxed grains.//Metal Mater Trans B, Vol. 40, pp.289-304, 2009.
6. Ahmad N., Combeau H., Desbiolles J-L., Jalanti T., Lesoult G., Rappaz J., Rappa M., Stomp C. Numerical

Simulation of macrosegregation: a comparison between finite volume method and finite element method predictions and a confrontation with experiments.// Metal Mater trans A, Vol. 29, pp. 617-630., 1998.

7. Balcar M., Zelezny R., Sochor L., Fila P., Martinek L. The development of a chill mould for tool steels using numerical modeling.// Mater Technol, 2008.

8. Kermanpur A., Eskandari M., Purmohamad H., Soltani M.A., Shateri R. Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation.//Materials and Design, 31, 2010.

9. Broitman O.A., Monastyrsky A.V., Ivanov I.A., Malginov A.N., Makarychev E.V., Sarayev D.Yu. Computer simulation of large steel forging ingots formation processes. // Caster of Russia, №10, 2011.

10. Melikhov V.M. Development of rational parameters for heat-mass transfer and hydrodynamics at ingots formation.// Bulletin of Donetsk National University, Set.A. Issue 2: Natural Sciences, 2010.

11. Voskoboynikov V.G., Kudrin V.A., Yakushev A.M. General Metallurgy.-M.: "Akademkniga", pp. 768, 2005.

12. Romm E.S. Structural Models of Pore Space in Rocks.-Leningrad: Interior, pp. 240, 1985.

13. Launder B.E., Spalding D.B. The Numerical Computation of Turbulent Flows.// Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.3, pp. 269-289, 1974.

14. ProCAST 2010 User's Manual ©2010 ESI Group

Sokolova Olga Olegovna

State National Research Polytechnic University of Perm, Perm

Postgraduate student, Department of Computational Mathematics and Mechanics

E-mail: oos.prm@mail.ru

Trufanov Nikolay Aleksandrovich

State National Research Polytechnic University of Perm, Perm

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Computational Mathematics and Mechanics

E-mail: vmm@cpl.pstu.ac.ru

УДК 621.91

Н.В. КАНАТНИКОВ, А.А. РЕВЕНКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС СРЕДНЕГО МОДУЛЯ

В статье определяется влияние маршрута обработки венца прямозубого конического колеса на производительность процесса и точность получаемого профиля при обработке колес среднего модуля на зубострогальных станках.

Ключевые слова: *зубострогание, коническое зубчатое колесо, силы резания.*

Зубострогальные станки, работающие методом обкатки, применяются главным образом для нарезания прямозубых конических колес в условиях единичного и мелкосерийного производства. Обычно технологический процесс обработки зубчатого венца включает в себя предварительную прорезку впадин и последующие профилирование зубьев. Чистовое нарезание на станках рассматриваемого типа можно производить тремя способами [1]: с обкаткой, без обкатки (простым врезанием) или комбинированным способом – с обоими движениями одновременно. Черновая обработка простым врезанием является наиболее экономичной, однако при данном способе остается неравномерный припуск на чистовое нарезание. При обработке зубчатых колес модулем менее двух миллиметров предварительное нарезание становится невозможным, так как трудно с достаточной точностью ввести чистовые резцы в уже прорезанные впадины. Эти и другие факторы во многом определяют выбор технологического маршрута обработки венца прямозубого зубчатого колеса на зубострогальном станке. Целью данной работы является определение влияния методов обработки зубчатых колес на зубострогальных станках на точность получаемого профиля и производительность процесса.

Основой для выполнения данной работы служат как общепринятые рекомендации по применению различных способов обработки, так и проведенный аналитический анализ,

определяющий осевые составляющие сил резания, возникающие в процессе зубострогания. Сила резания является важным параметром процесса обработки зубчатых поверхностей, во многом определяющим качество нарезаемого профиля и стойкость режущего инструмента. В данной работе используется обобщенная методика определения силовых характеристик процесса лезвийной обработки прямозубого конического профиля, заключающаяся в расчете удельных сил резания, приходящихся на элемент режущего лезвия, и последующим суммированием их по всем режущим кромкам, участвующим в резании в данный момент.

Выражения для определения удельных составляющих силы резания имеют вид (рис. 1):

$$P_Z = \sum \Delta P_Z \Delta l K_{cl}. \quad (1)$$

На боковых режущих кромках:

$$P_Y = \sum \Delta P_Y \Delta l \sin(\alpha' \pm \Phi) K_{cl}; \quad (2)$$

$$P_X = \sum \Delta P_Y \Delta l \cos(\alpha' \pm \Phi) K_{cl}, \quad (3)$$

На вершине резца:

$$P_Y = \sum \Delta P_Y \Delta l \cos \Phi K_{cl}; \quad (4)$$

$$P_X = \sum \Delta P_Y \Delta l \sin \Phi K_{cl}, \quad (5)$$

где \pm – входная или выходная кромка;

Δl – элемент режущего лезвия;

K_{cl} – коэффициент, учитывающий сложность формирования стружки;

$\Delta P_Z, \Delta P_Y$ – удельные составляющие силы резания, приходящиеся на элементарный участок режущей кромки.

Удельные составляющие силы резания ΔP_Z и ΔP_Y в диапазоне толщин срезаемого слоя от 0,01 до 0,5 мм, передних углов от -0,0175 рад до 0,0349 рад и задних углов от 0,00873 рад до 0,0524 рад:

$$\Delta P_Z = (1,7 \cdot 10^2 \cdot a^{0,9} + 4,3 - 9(\gamma + \Delta\gamma))(\lambda - \Delta\lambda)^{-0,07} 9,8 K_{pz}; \quad (6)$$

$$\Delta P_Y = (0,44 \cdot 10^2 \cdot a^{0,95} + 1,4 - 3,4(\gamma + \Delta\gamma))(\lambda - \Delta\lambda)^{-0,2} 9,8 K_{py}, \quad (7)$$

где a – толщина срезаемого слоя;

γ – передний угол инструмента;

$\Delta\gamma$ – кинематическое изменение переднего угла;

λ – задний угол инструмента;

$\Delta\lambda$ – кинематическое изменение заднего угла;

K_{pz} и K_{py} – обобщенные поправочные коэффициенты, равные произведению коэффициентов K_M, K_C, K_h и K_V , учитывающих влияние следующих факторов: K_M – материала, K_C – СОТС, K_h – износа инструмента, K_V – скорости резания.

При толщине срезаемого слоя до 0,01мм:

$$\Delta P_Z = (57 + 2210a) K_{pz}; \quad (8)$$

$$\Delta P_Y = (67,5 + 1480a) K_{py}. \quad (9)$$

Основой для расчета служит математическое отображение схемы резания. В общем виде, в декартовых координатах, ее можно представить следующим образом [2]:

$$X = f(l, \Phi, \Delta h);$$

$$Y = f(l, \Phi, \Delta h); \quad (10)$$

$$Z = f(l, \Phi, \Delta h),$$

где X, Y, Z – координаты точки режущего лезвия резца в процессе резания;

l – параметр движения резания;

Φ – угол поворота резца;

Δh – параметр режущего лезвия.

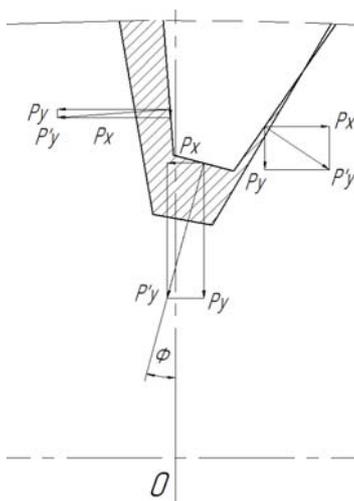


Рисунок 1 – Определение составляющих силы резания при обработке зубострогальным резцом

Для процесса зубострогания резцами с прямолинейными режущими кромками математическое отображение схемы резания принимает следующий вид:

$$\begin{aligned}
 X &= -\sin \frac{\Phi}{\operatorname{tg} \varphi_M} (\operatorname{tg} \varphi_M + \Delta h) + \cos \frac{\Phi}{\operatorname{tg} \varphi_M} [l \sin \Phi \pm (0,2m + \Delta h \operatorname{tg} \alpha') \cos \Phi]; \\
 Y &= \cos \frac{\Phi}{\operatorname{tg} \varphi_M} (\operatorname{tg} \varphi_M + \Delta h) + \sin \frac{\Phi}{\operatorname{tg} \varphi_M} [l \sin \Phi \pm (0,2m + \Delta h \operatorname{tg} \alpha') \cos \Phi] - \operatorname{tg} \varphi_M; \\
 Z &= l \cos \Phi \mp (0,2m + \Delta h \operatorname{tg} \alpha') \sin \Phi.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Расчет параметров срезаемого слоя и кинематическое изменение углов инструмента производится по методике изложенной в [3].

Основываясь на представленной методике, рассчитаем осевые составляющие силы резания в торцевом сечении, возникающие в процессе обработки венца конического зубчатого колеса: $Z=40$, $m=4$ мм, $\varphi = 45^\circ$ двумя способами. Первый вариант обработки заключается в строгании зуба в цельной заготовке универсальным резцом. По второму варианту работа ведется чистовым зубострогальным резцом в заготовке с заранее прорезанными впадинами. Впадины прорезаны зубострогальным черновым резцом методом простого врезания. Режим резания в обоих случаях примем одинаковым: $V=14$ м/мин; $S=1$ рад/мин (рис. 2).

На рисунке 2 основной линией показано изменение осевых составляющих силы резания при строгании универсальным резцом цельной заготовки и пунктирной линией – изменения составляющих силы резания при строгании заготовки с уже прорезанными впадинами. Из графика видно, что при строгании цельной заготовки максимальная амплитуда осевой составляющей силы резания увеличивается более чем на 30%. Кроме того, основная нагрузка приходится на переднюю кромку резца, в результате чего она быстро изнашивается. Приведенные факты говорят о том, что строгание колес среднего модуля в один проход без предварительной обработки нежелательно.

Так же следует отметить тот факт, что на этапе профилирования сила резания при обработке в один проход и при обработке уже прорезанных впадин одинакова. Соответственно качество получаемого профиля не будет меняться. Это происходит в результате того, что черной резец с прямолинейными режущими кромками оставляет неравномерный припуск на чистовую обработку.

Качество получаемой поверхности можно увеличить за счет изменения режима резания (увеличения количества двойных ходов на обработку одного зуба) или при предварительном строгании впадин фасонными резцами, что позволяет обеспечить равномерный припуск. Первый способ связан с увеличением технологического времени обработки поверхности. Второй требует изготовление специального режущего инструмента со сложным фасонным профилем.

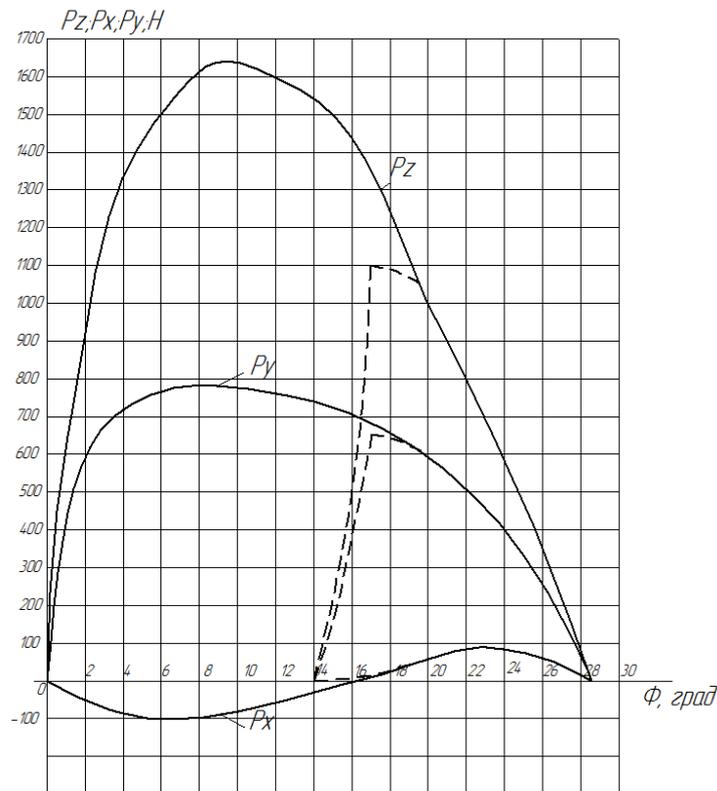


Рисунок 2 – Осевые составляющие силы резания

Рассчитаем осевые составляющие силы резания в торцевом сечении, возникающие в процессе обработки венца конического зубчатого колеса при зубострогании в два прохода. Сущность метода заключается в обработке заготовки универсальными резцами, подвигая инструментальную бабку или стол вперед после каждого прохода. Исходными данными для расчета являются следующие характеристики: $Z=40$, $m=4$ мм, $\varphi = 45^\circ$, припуск под чистовой проход 1 мм. Режим резания примем: $V=14$ м/мин; $S=1$ рад/мин (рис. 3).

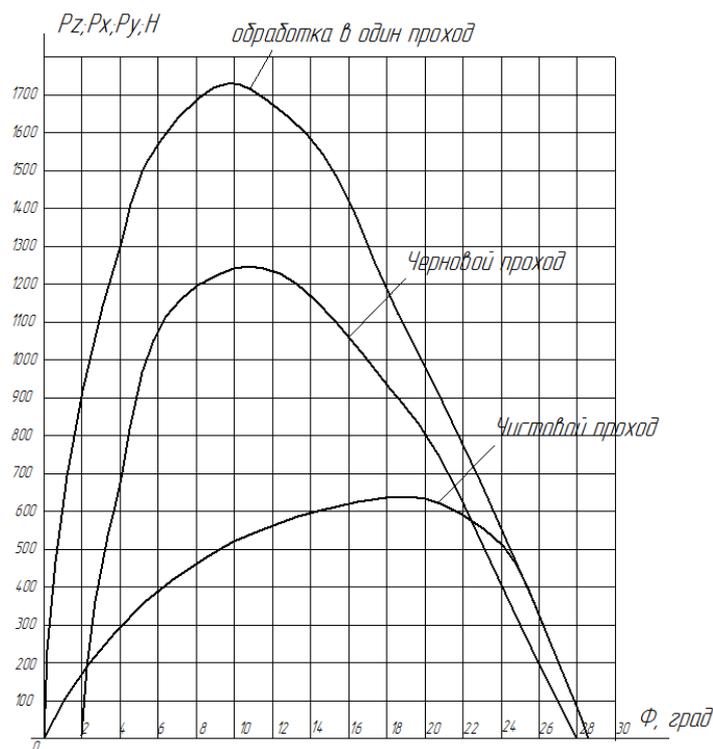


Рисунок 3 – Изменения осевой составляющей силы резания P_z при строгании в два прохода

Наибольшее влияние на процесс обработки оказывает максимальная составляющая силы, возникающей в процессе резания, поэтому для увеличения наглядности на рисунке 3 представлено только изменение составляющей P_z .

Из рисунка 3 видно, что при обработке в несколько проходов существенно снижается максимальная амплитуда силы резания и уменьшается сила резания, возникающая на участке профилирования, что приводит к повышению качества получаемого изделия. Однако при использовании данного вида обработки существенно возрастает время обработки.

Таким образом, можно сделать вывод, что при разработке технологического маршрута обработки прямозубого конического колеса на зубострогальном станке приходится решать задачу нахождения компромисса между производительностью процесса и качеством получаемого изделия.

В данной работе была показана нежелательность применения способа строгания зубчатых колес среднего модуля на цельных заготовках универсальными резцами. Был отмечен тот факт, что точность профиля нарезаемого зубчатого колеса не зависит от того, была ли проведена предварительная обработка впадин или нет (за исключением случая когда черновое нарезание ведется фасонным инструментом).

Кроме того, был рассмотрен процесс зубострогания в несколько проходов. Несмотря на то, что применение этого способа ведет к значительному увеличению времени обработки, в результате его использования значительно снижаются нагрузки на технологическую систему и увеличивается качество получаемой поверхности. Данный метод находит ещё более широкое применение при обработке мелко модульных колес, когда черновое нарезание методом простого врезания невозможно, так как трудно с достаточной точностью ввести чистовые резцы в уже прорезанные впадины. Таким образом очевидно, что одним из путей оптимизации процесса нарезания конических зубчатых колес с прямым зубом является разработка рекомендаций по выбору припусков и режимов резания, назначаемых на каждый проход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кедринский, В. Н. Станки для обработки конических зубчатых колес [Текст] / В. Н. Кедринский, К. М. Писманик. – М. : Машиностроение, 1967. – 588 с. : ил.
2. Харламов, Г. А. Теория проектирования процессов лезвийной обработки [Текст] / А. С. Тарапанов. – М : Машиностроение, 2003. – 252 с. : ил.
3. Канатников, Н. В. Математическое отображение кинематической схемы зубострогания прямозубых конических колес [Текст] / Н. В. Канатников // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии. – Матер. междунар. науч. - техн. конф. – Липецк. : ЛГТУ, 2012.

Канатников Никита Владимирович
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант
Телефон: (4862) 550802;
E-mail: upk@ostu.com

Ревенков Александр Александрович
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Магистр
Телефон: (4862) 550802;
E-mail: upk@ostu.com

N.V. KANATNIKOV, A.A. REVENKOV

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROCESSING OF STRAIGHT BEVEL GEARS

In the article are defined influences manufacturing process of straight bevel gears on the efficiency of the process and the accuracy of the resulting profile during the processing middle module gears on straight bevel gears generators.

Keywords: gear shaping, bevel gear, the cutting force.

BIBLIOGRAPHY

1. V.N. Kedrinsky, Machine Tools for Bevel Gears Machining. [Text]/ V.N. Kedrinsky, K.M. Pismanik. M.: Mechanical Engineering, pp. 588: ill., 1967.
2. G.A. Kharlamov, Designing Theory for Edge Cutting Machining Processes. [Text]/A.S. Tarapanov, M.: Mechanical Engineering, pp. 252, ill., 2003.
3. N.V. Kanatnikov, Mathematical representation of straight bevel gear-planing kinematics [Text]/"Fundamental and Applied Problems of Up-dating Modern Mechanical Engineering and Metallurgy".- Proceedings Of Inter. Scientific –Tech. Conf.-Lipetsk.: LSTU, 2012.

Kanatnikov Nikita Vladimirovich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Post graduate student
Phone: (4862) 550802;
E-mail: upk@ostu.com

Revenkov Alexander Alexandrovich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Master
Phone: (4862) 550802;
E-mail: upk@ostu.com

УДК 621.822.5

А.М. АНОХИН, Н.Н. КУЗНЕЦОВ, С.И. ДВОРЯДКИН, П.С. САВКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ С ПОМОЩЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Повышение полезной мощности шестеренных насосных агрегатов, применяемых в различных отраслях транспортной и энергетической промышленности, связано с улучшением работоспособности роторно-опорного узла. В статье рассмотрены два вида гидростатодинамических подшипников скольжения, произведен расчет и установлены закономерности изменения эффекта Ломакина, потерь мощности на прокачку и расхода смазочного материала подшипников от различных параметров. Проведены испытания подшипников скольжения, предложено улучшения конструкции подшипников.

Ключевые слова: *насосный агрегат, гидростатодинамические подшипники, несущая способность, потери мощности на трение, потери мощности на прокачку, расход смазочного материала*

В системах гидравлических машин применяются шестеренные насосы, которые в сравнении с другими видами насосов имеют меньшие габаритные размеры, массу, стоимость и высокий коэффициент полезного действия. Они работают только на жидкостях, обладающих смазывающими свойствами, так их рабочие органы представляют собой пары трения. В качестве пар трения служат корпус насоса и шестерни, а также цапфы валов и подшипники скольжения.

Повышение конкурентоспособности на предприятиях производится в основном подбором материалов для подшипников скольжения и цапфы вала. Так, например, на производственном объединении «Гидравлические машины и системы» внедрили в качестве подшипника металлофторопластовую втулку, а цапфы изготовили из азотированной стали 18ХГТ, что позволило повысить КПД насоса [1].

Анализ конструкций насосных агрегатов для перекачивания нефтепродуктов показывает, что их надежность, долговечность, массогабариты и КПД во многом зависят от характеристик опорных узлов. Повышения характеристик насоса можно добиться изменением конструкции подшипников скольжения.

Перспективными направлениями повышения рабочих характеристик гидродинамических подшипников по сравнению с базовой гладкой конструкцией является выбор наилучшего варианта подачи смазки в подшипник и оптимизация профиля зазора (формы подшипника). Такие варианты имеют теоретическое обоснование, основанное на совместном решении задач гидродинамической теории смазки и оптимального проектирования.

В соответствии с расчетными моделями заказчиком были изготовлены опытные образцы гидродинамических подшипников с оптимизированной формой и различными вариантами подвода смазки, а также в качестве базы для сравнения результаты гладкие гидродинамические подшипники.

Проведение экспериментальных исследований имело главной задачей проверку теоретического положения о том, что выполнение поверхности гидродинамического подшипника с пазами для подачи рабочей жидкости и с точечными камерами позволяет достичь большей грузоподъемности при прочих равных геометрических и рабочих параметрах роторно-опорного узла, а также выявления оптимального положения питающих камер и точки слива.

По условиям технического задания объектами исследования являются радиальные гидростатодинамические подшипники с пазами для подвода смазочной жидкости (рис. 1) и радиальные гидродинамические подшипники с пазами и точечными камерами для подачи смазочного материала (рис. 2).

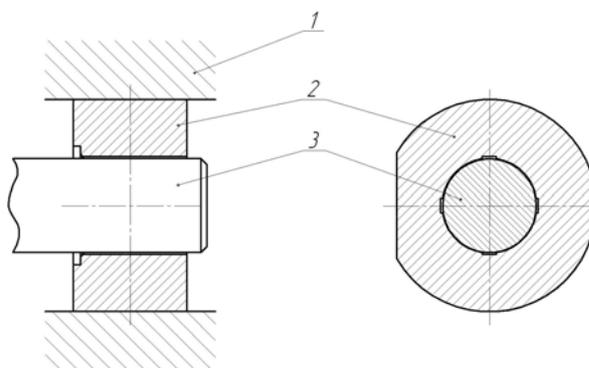


Рисунок 1 - ГСДП1

1 – корпус насоса; 2 - подшипник; 3 – цапфа вала

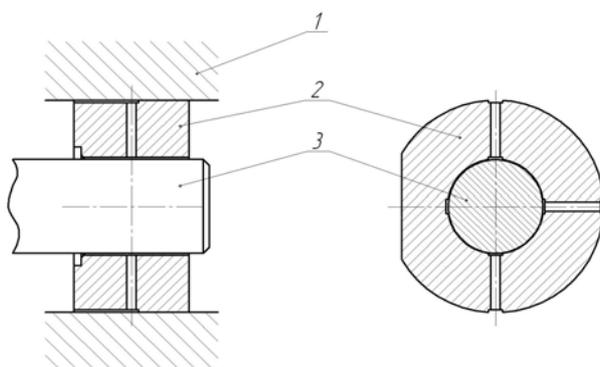


Рисунок 2 - ГСДП2

1 – корпус насоса; 2 - подшипник; 3 – цапфа вала

Следует отметить, что при продольной подачи смазки в гидродинамических подшипниках возникает постоянная гидростатическая сила, обусловленная разностью гидравлических сопротивлений каналов в областях низких и высоких значений функции радиального зазора [2]. Описанное явление называется эффектом Ломакина, для его учета предлагается следующий алгоритм определения гидростатической силы. Разность гидростатических давлений по поперечному сечению подшипника обуславливается различными потерями на трение в областях малых и высоких эксцентриситетов при дросселировании потока. Вследствие этого возникает центрирующая сила, действующая на вал в направлении противоположном вектору эксцентриситета e .

Расчет гидростатической силы F велся по формуле:

$$F = k_p e,$$

где k_p – коэффициент, зависящий от геометрии дросселирующего канала перепада давлений и свойств рабочей жидкости.

Использование маловязких жидкостей (дизельное топливо, бензин, керосин) в качестве смазочных материалов требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований по оценке работоспособности опор жидкостного трения, которые являются нестандартными элементами и требуют специального инструментария проектирования. В настоящее время при проектировании роторных машин используют программы расчета, которые сформированы на базе специальных математических моделей и прошли практическую апробацию [3].

Разработка опорных узлов включает проектный и проверочный расчеты. Задачей проектного расчета является определение рабочих и геометрических параметров подшипника по заданным значениям нагрузки, частоты вращения, вида смазочного материала и устройств его подачи. Проверочный расчет подшипников сводится к определению интегральных характеристик: грузоподъемности, расхода смазочного материала, потерь мощности на трение и прокачку. Проведя расчеты гидростатодинамических подшипников с использованием программного обеспечения, «АнРоС – Нефтепродукты» были получены следующие результаты (рисунки 3-7).

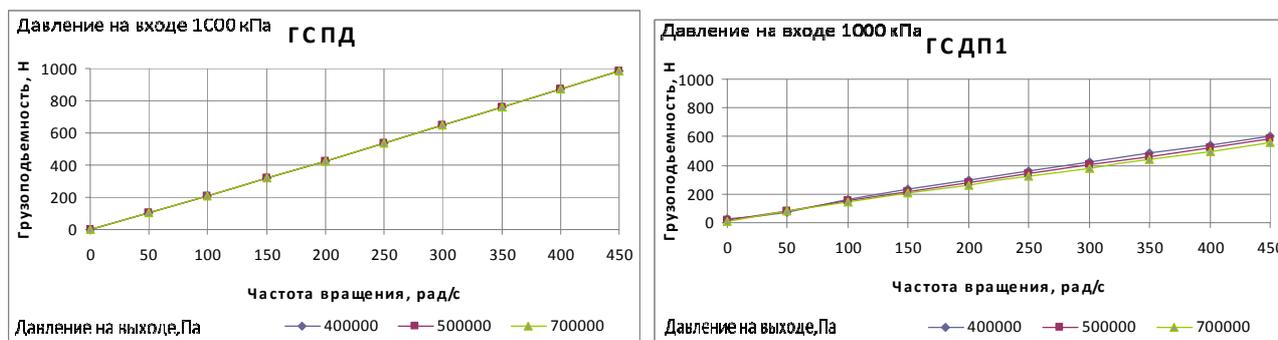


Рисунок 3 Грузоподъемность подшипников на входе 1000 кПа

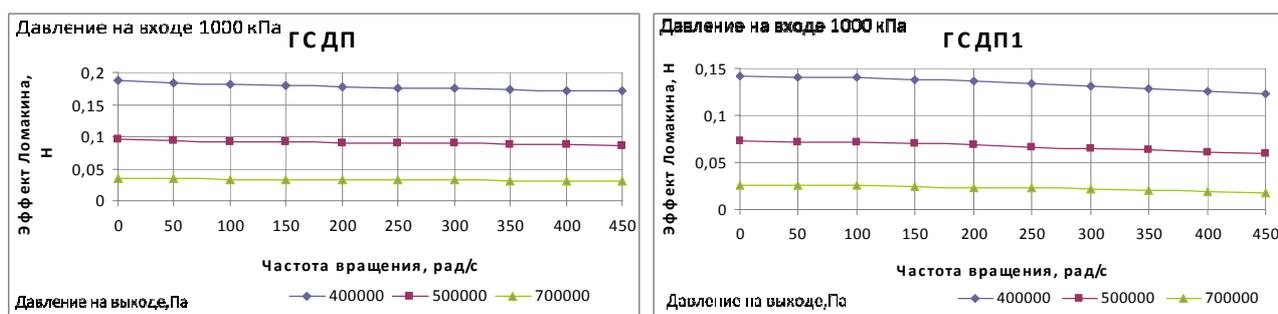


Рисунок 4 - Эффект Ломакина при давлении на входе 1000 кПа

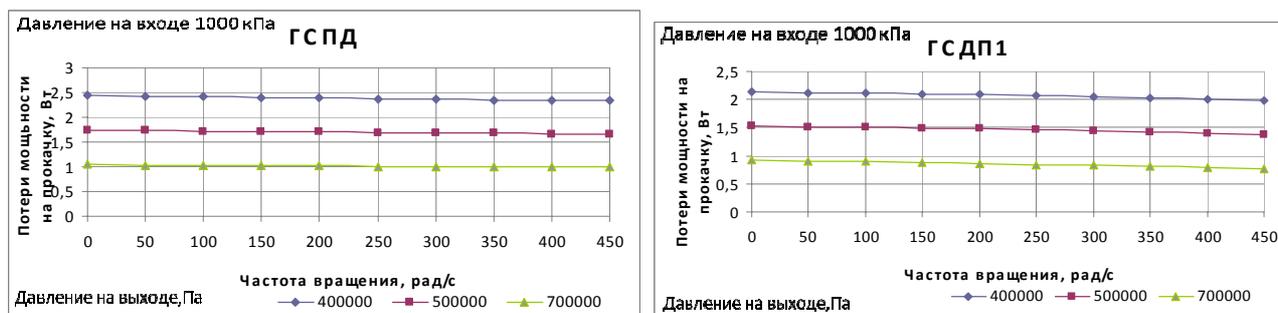


Рисунок 5 - Потери мощности на прокачку при давлении на входе 1000 кПа

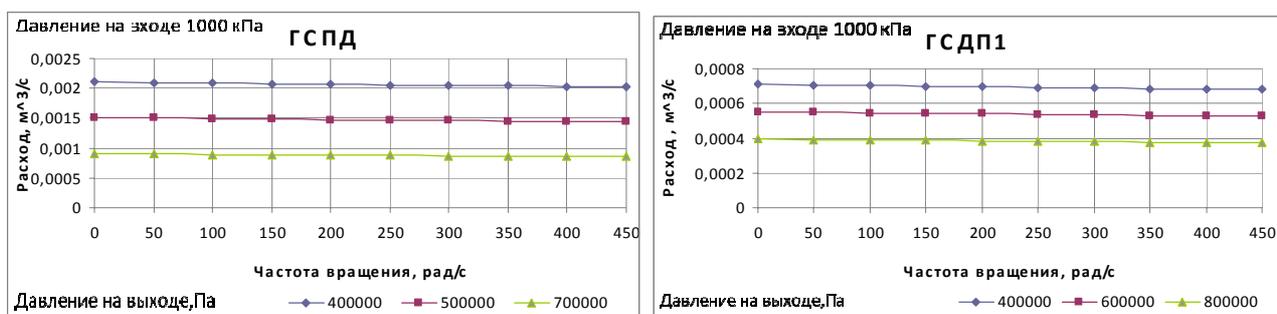


Рисунок 6 - Расход смазочного материала при давлении на входе 1000 кПа

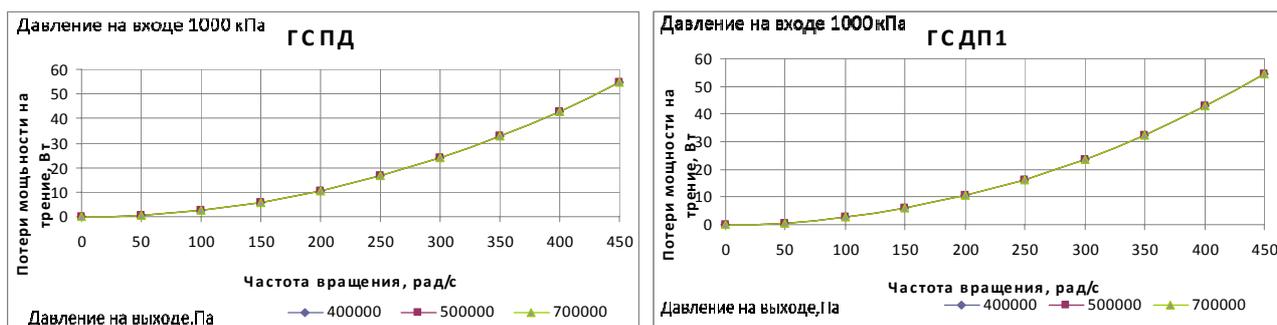


Рисунок 7 Потери мощности на трение на входе 1000 кПа

– С увеличением частоты вращения грузоподъемность увеличивается в подшипнике с осевой подачей смазочного материала и в подшипнике с точечными камерами.

– Грузоподъемность выше в подшипнике с осевой подачей на 40% чем в подшипнике с точечными камерами. Изменение давления на выходе не влияет на данный параметр в двух типах подшипников скольжения.

– Дополнительная грузоподъемность в виде эффекта Ломакина имеет тенденцию к снижению с увеличением частоты вращения. Эффект Ломакина выше в подшипнике с осевой подачей, чем в подшипнике с точечными камерами. Увеличение давления на выходе ведет к понижению эффекта Ломакина в обоих типах подшипников.

– Потери давления на прокачку имеют некоторое снижение с повышением частоты вращения в обоих типах подшипников. Потери давления на прокачку выше в подшипниках с осевой подачей смазочного материала. Увеличение давления на выходе приводит к понижению потерь мощности на трение в два раза.

– Расход смазочного материала не изменяется с повышением частоты вращения в обоих типах подшипников. Расход смазочного материала выше в подшипниках с осевой подачей смазочного материала. Увеличение давления на выходе влечет к понижению расхода смазочного материала в два раза в обоих типах подшипников.

– Потери мощности на трение увеличиваются с повышением частоты вращения в обоих типах подшипников на одинаковую величину. Вид подшипника и изменение давления на выходе не влияет на изменение данного параметра.

Исследование при помощи программного обеспечения «AnPoC – Нефтепродукты» показывает, что предпочтения имеют подшипники с осевой подачей смазочного материала.

Испытание насоса на определение рабочих параметров, а также на ресурс представляет собой значительные затраты энергетических ресурсов. После согласования с заказчиком были изготовлены подшипники скольжения с осевой подачей смазочного материала и проведены испытания на определение рабочих параметров: подачи, мощности и коэффициента полезного действия насосного агрегата. На испытательном стенде создавалось давление на выходе насоса, которое измерялось манометром. Схема испытательного стенда представлена на рисунке 8.

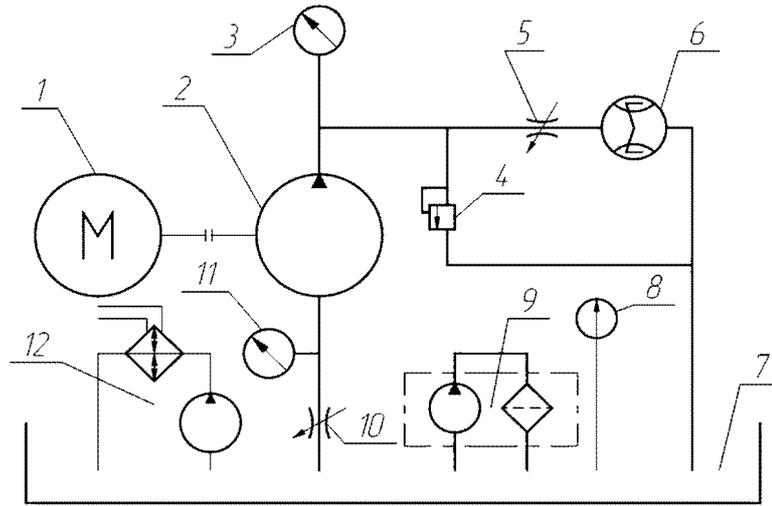


Рисунок 8 - Принципиальная схема испытательного стенда:

1-привод; 2-испытуемый насос; 3-манометр; 4-предохранительный клапан; 5-дрессель нагнетательного трубопровода; 6 - измерительное устройство (расходомер); 7 – бак; 8 – термометр; 9 – фильтр; 10 - дрессель всасывающего трубопровода; 11 – манометр; 12 – теплообменник

Выводы по испытаниям.

Удалось достичь давления насоса 12 кгс/см² в сравнении с базовым вариантом 10 кгс/см².

Проанализировав подачу испытуемого насоса и базового, видно, что при увеличении давления на выходе фактическая подача несколько снижается, следовательно, зависит от давления на выходе, причем подача расчетная уменьшается сильнее. На базовом насосе фактическая подача больше на 2,5 % чем на испытуемом.

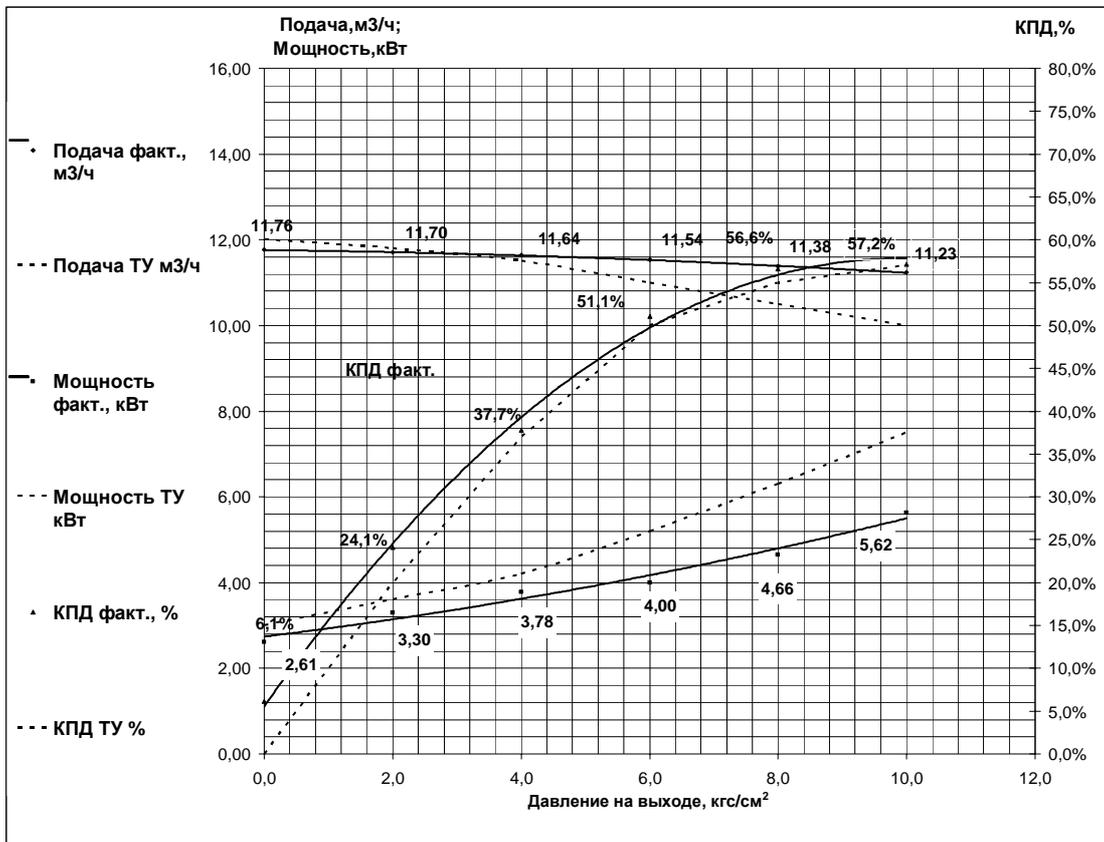


Рисунок 9 - Результаты испытаний базового насоса

Проанализировав мощность испытуемого насоса и базового видно, что фактическая мощность с повышением давления на выходе увеличивается, следовательно, зависит от давления на выходе, причем расчетная мощность на испытуемом насосе больше на 14 %, чем на базовом.

Проанализировав КПД испытуемого насоса и базового видно, что фактическое КПД с увеличением давления на выходе увеличивается, причем КПД у базового насоса больше чем по расчетам (КПД ТУ %), а у второго ниже, КПД испытуемого насоса оказался меньше на 10 %, чем у базового.

Согласно протоколам обмера, при повышении давления на выходе насоса заклинивание в испытуемом насосе произошло не по подшипникам, а по торцам подшипника и ротора.

Результаты испытаний: параметры агрегата соответствуют требованиям ТУ 26-06-1529-88
 Заключение комиссии - агрегат выдержал периодические испытания

Выводы.

Влияние эффекта Ломакина, полученное в результате расчета с использованием программного продукта «АнРоС – Нефтепродукты» подтвердилось при испытаниях насосного агрегата

Предложено усовершенствование подшипников скольжения – добавлены пазы по торцам подшипника [4].

Рекомендовано маслоотводные карманы, проточки и отверстия не размещать в нагруженной зоне подшипника [4].

Достигнута договоренность о продолжении сотрудничества с «ОАО ГМС Насосы»

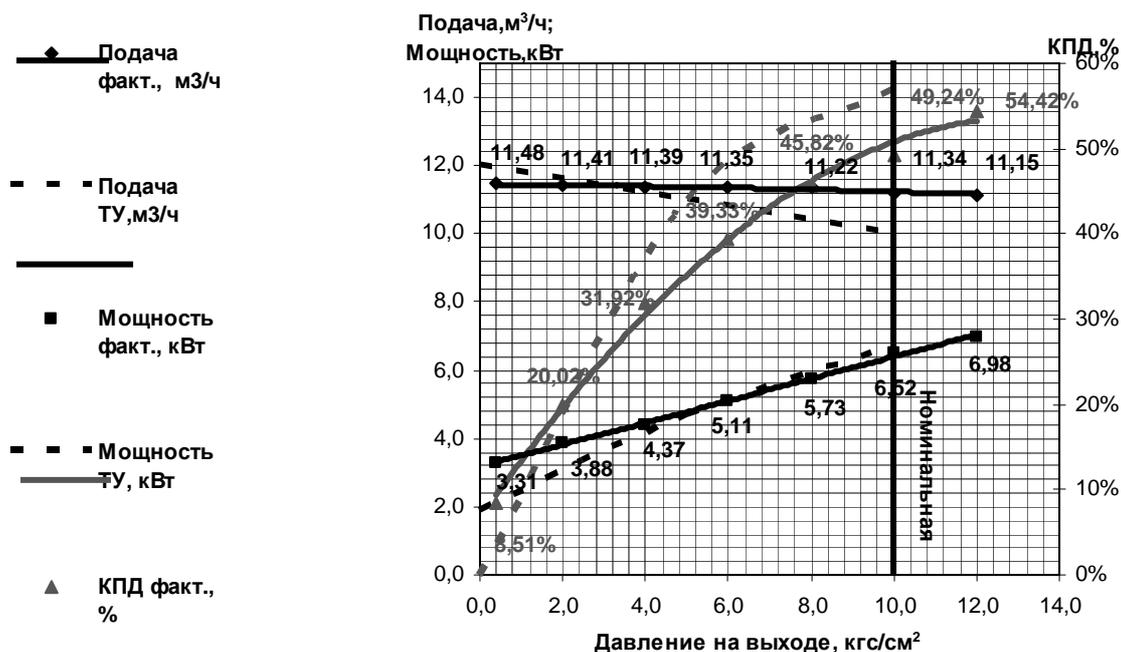


Рисунок 10 – Результаты испытаний исследуемого насоса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рязанцев, В. М. Роторно-вращательные насосы с циклоидальными зацеплениями [Текст] / В. М. Рязанцев. – М. : Машиностроение, 2005. – 346 с. : ил.
2. Марцинковский, В. А. Гидродинамика дросселирующих каналов [Текст] / В. А. Марцинковский. – Сумы : Изд. Сумского университета, 2002. – 338 с.
3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008612018. АнРоС Нефтепродукты [Текст] / А. М. Анохин, С. В. Майоров, А. А. Морозов, Л. А. Савин, О. В. Соломин. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23 апреля 2008 г.
4. Анурьев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х т. Т. 2. [Текст] / В. И. Анурьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 559 с. : ил.

Анохин Александр Михайлович
Ливенский филиал
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Ливны
Канд. техн. наук
Тел. 89103006408
E-mail: anohin62@mail.ru

Кузнецов Николай Николаевич
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Орёл
Магистр
Тел. 89102660246
E-mail: bassist57@gmail.com

Дворядкин Сергей Игоревич
Ливенский филиал
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Ливны
Студент
Тел. 89536127669

Савков Павел Сергеевич
Ливенский филиал
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Ливны
Студент
Тел. 89536108593

A.M. ANOCHIN, N.N. KUZNETSOV, S.I. DVORYADKIN, P.S. SAVKOV

THE INCREASE OF CHARACTERISTICS GEAR PUMP UNITS BY MEANS OF PERFECTION OF DESIGNS OF BEARINGS OF SLIDING

The increase of useful capacity of gear pump units applied in various branches of transport and power industry is connected with the improvement of the efficient operation of the rotor-bearing unit. Two types of hydrostaticdynamic sliding bearing are considered in the article, the calculation is performed and certain laws of alteration of Lomakin effect, losses of power on forcing, expense of lubricating material on different parameters are determined here. The sliding bearings have been tested and improved design of the bearings has been suggested.

Keywords: *pumping aqreqat, hydrostaticdynamic sliding bearing, caring ability, losses of power on a friction, losses of power on forcing, expense of lubricating material*

BIBLIOGRAPHY

1. Ryazantsev, V.M. Rotary pumps with cycloidal entanglements / V.M. Ryazantsev - Moscow: Mashinostroenie, 2005. - 346 p. silt.
2. Martsinkovsky, V.A. Hydrodynamics of throttling channels / V.A. Martsinkovsky - Sumy Univ. University of Sumy. 2002.-338 p.
3. AnRoS - Oil / Anokhin, A.M., Maiorov, S.V. Morozov, A.D., Savin L.A., Solomin O.V. Certificate of official registration of computer programs № 2008612018. Registered in the Registry of Computer Programs April 23, 2008
4. Anuriev, V.I. Mechanical designer reference. In 3 vols 2. -Ed., Revised. and added. - Moscow: Mashinostroenie, 1980.-559 p., ill.

Anochin Alexandr Michailovich
Livny Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC»,
Livny
Can.Sc.tech
Phone: 89103006408
E-mail: anohin62@mail.ru

Kuznetsov Nikolay Nikolaevich
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Undergraduate
Phone: 89102660246
E-mail: bassist57@gmail.com

Dvoryadkin Sergej Igorevich
Livny Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC»,
Livny
Student
Phone: 89536127669

Savkov Pavel Sergeevich
Livny Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC»,
Livny
Student
Phone: 89536108593

К.А. МОГИЛЬНИКОВ, О.Ю. СМЕТАННИКОВ, Ф.В. НАБОКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТОРМОЗА В MSC.EASY5

Рассмотрена методика построения модели основного элемента противооткатного устройства – тормоза отката, из компонентов библиотеки Thermal Hydraulic программы MSC.EASY5. Проведена верификация результатов решения тестовой задачи отката путем сравнения с эталонным решением. Использование визуально-модульной структуры математической модели существенно ускоряет разработку новых конструкций ПОУ во взаимодействии с виртуальным прототипом платформы артиллерийского орудия, созданном в MSC.ADAMS.

Ключевые слова: математическое моделирование; визуально-модульная структура; тормоз отката; Thermal Hydraulic

В связи с ростом требований к вновь создаваемым и модернизируемым артиллерийским системам, увеличением импульса отдачи, уменьшением массы орудий, увеличением скорострельности и дальности стрельбы, повышением точности стрельбы, актуальной становится проблема повышения качества защиты лафета (базы, основания) артиллерийского орудия при выстреле при всех условиях функционирования системы. Это зачастую достигается посредством совершенствования конструкций и методов расчета противооткатных устройств.

Несмотря на солидный объем имеющихся работ по теории, методам расчета противооткатных устройств [1-6], приходится констатировать тот факт, что на практике отсутствует системный подход и методология проектирования и расчета противооткатных устройств с учетом условий стрельбы и функционирования артиллерийских систем, продолжительности жизненного цикла орудия. Эти условия и требования подразумевают на стадии проектирования учитывать параметры ПОУ и орудия, изменяющиеся в процессе эксплуатации системы, например, в результате износа, изменения уровня нагрузок. Они также связаны с необходимостью обеспечения выполнения разнообразных задач в процессе эксплуатации

При проектировании новых систем, содержащих, как правило, оригинальные ПОУ, т.е. конструкции, обладающие новизной по сравнению с известными, одной из основных задач, стоящих перед конструктором-расчетчиком, является создание в короткие сроки математической модели динамики откатных частей при выстреле и проведение расчетов.

Гидравлические и пневматические противооткатные устройства артиллерийских систем представляют собой, как правило, систему полостей, заполненных жидкостью или газом и соединенных проточными каналами, включающими регулирующие элементы, зазоры

Кроме того, в ПОУ имеются подвижные элементы (клапаны, плавающие поршни и другие элементы), характеризующиеся инерционностью, взаимодействием с другими частями орудия, потоками жидкости и газа. Это взаимодействие вносит определенные поправки в динамику ПОУ при выстреле.

Быстрое и качественное проектирование ПОУ можно осуществить при наличии или с использованием универсальных методик и программ, позволяющих рассчитать основные параметры и характеристики процессов, протекающих в различных узлах ПОУ при выстреле.

Одна из первых таких методик была разработана Л.В. Марченко [4]. Математическое описание гидромеханических процессов в ней основано на известных из механики жидкости и газа общих уравнениях движения сплошной среды с использованием экспериментальных значений коэффициентов гидравлических сопротивлений, коэффициентов расходов и коэффициентов гидродинамических сил. Задача определения характеристик решается для средних значений давлений в емкостях при квазистационарных условиях течения в пневмогидролиниях. При построении математической модели рассматриваются два типа емкостей: заполненных жидкостью и газом и заполненных только жидкостью. Параметры емкостей (объемы жидкости, газа, давление) первого типа определяются дифференциальными уравнениями изменения объемов и законов сохранения массы и

энергии для жидкости и газа. Для емкостей второго типа давление определяется алгебраическим уравнением равенства объемных расходов жидкости из емкости и в емкость и изменения объемов емкости за счет движения поршней.

С другой стороны, применение подхода Л.В. Марченко к моделированию переходных процессов в полостях ПОУ не позволяет достаточно просто описать и внести дополнительные уравнения элементов и внести необходимые изменения в алгоритм и программу.

Более удобным и универсальным подходом к построению математической модели поведения служит учет в уравнениях неразрывности потока жидкости и в переходных процессах сжимаемости жидкости [1,3] и разработки на этих допущениях пакетов прикладных программ моделирования гидропривода, например, таких, как HIDRA [2] и др.

Следует отметить, что методика расчета гидравлических тормозов с учетом сжимаемости рабочей среды основана на определении давлений в основной полости и во вспомогательных полостях из решения дифференциальных уравнений неразрывности, в то время как отказ от учета сжимаемости приводит к необходимости определения давлений из решения трансцендентных уравнений баланса массы жидкости на каждом шаге интегрирования исходной системы дифференциальных уравнений отката (наката), что в несколько раз увеличивает время расчета на ЭВМ. Нередко возможна ситуация с невозможностью нахождения решения трансцендентных уравнений при использовании тех или иных алгоритмов.

Многолетний опыт разработки противооткатных систем показывает, что существенный вклад в стратегию проектирования ПОУ вносит также поведение платформы, на которой размещено орудие. В последние годы на большинстве машиностроительных предприятий, занятых выпуском высокотехнологичной продукции, широко применяются лицензионные инженерные пакеты, существенно ускоряющие цикл разработки изделий. В частности, для расчета динамики сложных транспортных систем на предприятиях отрасли используется программный комплекс MSC.ADAMS. При этом в среде самой программы создается виртуальный прототип механической системы подвески и трансмиссии рассматриваемого объекта, а моделирование элементов управления осуществляется во внешних модулях, связанных с основной моделью посредством интерфейса ADAMS/Controls. Противооткатное устройство, как было показано выше, относится к сложным нелинейным системам, описание которых традиционными средствами ADAMS/View не представляется возможным. Поэтому математическая модель ПОУ, как и модели систем управления, описывается во внешнем подключаемом модуле. Инструментом для его создания может служить, например, пользовательская подпрограмма или библиотека на языке FORTRAN. Более производительной и универсальной является методика визуального построения схемы устройства в среде специализированных пакетов.

Одним из наиболее широко используемых при проведении исследований динамических систем является программный комплекс на базе математического пакета MATLAB Simulink. При работе в среде Simulink информация об исследуемом объекте формируется путем сборки схемы объекта и задания параметров, входящих в схему стандартных и пользовательских компонентов. Модель может иметь иерархическую структуру, включающую подмодели более низкого уровня, причем уровней практически не ограничено. Вместе с тем моделирование системы ПОУ – орудие в связке MSC.ADAMS-MATLAB Simulink имеет ряд недостатков. В частности, при совместном решении задач движения орудийного ствола и работы противооткатного устройства оказывается невозможным регулирование шага по времени. Это особенно актуально из-за существенного различия характерных времен отката (порядка 0.1 с) и наката с последующим переходом системы в стационарное состояние (порядка 5-10 с). В результате время решения задачи значительно увеличивается и, с учетом большого объема динамической модели подвески орудия, может достигать десятков часов. Второй причиной возрастания времени счета является работа пакета MATLAB Simulink в режиме интерпретации. Указанные недостатки устранены в аналогичном специализированном пакете визуального программирования MSC.EASY5, максимально адаптированном к взаимодействию с MSC.ADAMS. MSC.EASY5 включает большое количество как готовых компонентов общего назначения (сумматоров, делителей, фильтров, интеграторов и т.п.), так физических устройств (клапаны, гидроцилиндры, теплообменники, редукторы, муфты сцепления и др.). В данной

работе была исследована принципиальная возможность применения данного пакета для моделирования ПОУ.

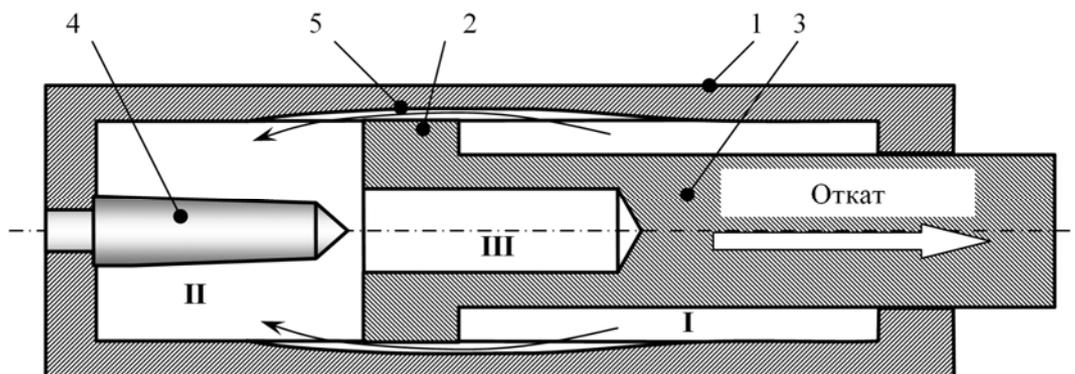


Рисунок 1 – Схема отката ПОУ веретенно-канавочного типа:
1 – рабочий цилиндр; 2, 3 – поршень и шток; 4 – веретено; 5 – канавка

Рассмотрим упрощенную схему тормоза отката веретенно-канавочного типа (рис. 1).

При расчете приняты следующие основные допущения:

- части лафета абсолютно твердые тела;
- жидкость в тормозе откатных частей несжимаема;
- коэффициенты гидравлических потерь постоянны по длине отката.

Рассмотрим стадию отката, принимая при этом во внимание, что площадь канавочных отверстий существенно меньше площади кольцевой щели между штоком и веретенем.

С учетом принятых допущений параметры отката определяются численным интегрированием системы дифференциальных уравнений движения откатных частей

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v, \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{m_0} (P_{KH} - R), \end{cases} \quad (1)$$

и уравнения наличия вакуума в полости штока тормоза отката при откате

$$\frac{dW_3}{dt} = A_{HH} v - q_3, \quad (2)$$

при начальных условиях:

$$t = 0: x = v = W_3 = 0. \quad (3)$$

где t – время движения откатных частей, с;

x – путь, пройденный откатными частями, м;

v – скорость откатных частей, м/с;

P_{KH} – приведенная сила давления пороховых газов на дно канала ствола, кН;

R – равнодействующая сил, приложенных к откатным частям, кН;

m_0 – приведенная масса откатных частей, кг;

W_3 – объем вакуума в полости штока, образующегося при откате, м³;

A_{HH} – рабочая площадь поршня тормоза наката, см²;

q_3 – расход жидкости в полость штока, м³/с:

$$q_3 = \Omega \sqrt{\frac{2}{\rho k_3}} (p_1 - p_3); \quad p_3 - \text{давление в полости штока (III на рисунке 1).}$$

Равнодействующая сил, приложенных к откатным частям, кН

$$R = F_o + F_H + R_f \text{sign } v, \quad (4)$$

$$F_o = F_{m0} - F_{mH}, \quad (5)$$

$$F_{m0} = p_1 A_m + p_1 (A_{HH} - A_p) - p_2 A_{oH}, \quad (6)$$

где F_o – суммарная сила гидравлического сопротивления тормоза отката, кН;
 F_H – сила накатника, кН;
 R_f – сила трения на направляющих ствола в люльке и в уплотнениях ПОУ, кН;
 F_{mo} – сила гидравлического сопротивления тормоза отката, кН;
 p_1 – давление жидкости в рабочей полости тормоза отката, МПа;
 p_2 – давление жидкости в запоршневой полости тормоза отката, МПа;
 A_m – рабочая площадь поршня тормоза отката, см²;
 A_p – площадь отверстия регулирующего кольца, см²;
 N_1, N_2 – реакции на передней и задней направляющих ствола – втулках.

Давление жидкости p_1 и p_2 в полостях тормоза отката определяются в зависимости от наличия перетечек жидкости при откате из полости штока в полость компенсатора. При неучете перетечек давление жидкости в рабочей полости тормоза отката, МПа

$$p_1 = \frac{\rho}{2} \left[\frac{A_m + A_{HH}(1 - j_k) - A_p + a(x) + a_3}{a_{np} + \frac{\Omega}{\sqrt{k_3}}(1 - j_k)} \right]^2 v^2 \quad (7)$$

давление жидкости в полости штока тормоза отката, МПа

$$p_2 = \left[p_1 - \frac{k_3 \rho}{2} \left(\frac{A_{HH}}{\Omega} \right)^2 v^2 \right] j_k \quad (8)$$

где $j_k = \begin{cases} 1 & \text{if } W_3 = 0; \\ 0 & \text{if } W_3 > 0. \end{cases}$

k_3 – коэффициент гидравлического сопротивления течению жидкости через регулирующие отверстия при откате;

$a(x)$ – площадь сечения канавок;

a_3 – площадь зазора между рубашкой штока и цилиндром тормоза отката по средним размерам, см²;

Ω – наименьшая площадь при течении жидкости при откате в полость штока, см²;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³

Сила, действующая со стороны пневматического накатника, кН

$$F_H = p_0 A_H \left(\frac{W_{B0}}{W_{B0} - A_H x} \right)^\theta, \quad (9)$$

где θ – показатель политропы газа в накатнике;

A_H – рабочая площадь поршня накатника, см²;

p_0 – начальное давление газа в накатнике, МПа;

W_{B0} – начальный объем воздуха в накатнике, см³.

Сила трения на направляющих люльки и в уплотнениях ПОУ, кН

$$R_f = T_{mo} + T_H; \quad (10)$$

где T_{mo} – сила трения в уплотнениях штока тормоза отката, кН;

T_H – сила трения в уплотнениях накатника, кН.

Исходные данные задачи сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные исходные данные задачи

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
m_0	425	p_0	30	k_2	1
A_{HH}	13.8	A_H	33.61	k_3	5.2
ρ	1030	W_{B0}	2330	c_2	0.217
A_p	9.62	θ	1.4	A_m	66.68
k_1	1.3	A_3	0.35	T_{mo}	450

Решение задачи (1)-(10) проводилось двумя методами: на базе FORTRAN – программы, используемой в настоящее время на одном из машиностроительных предприятий, г. Перми (эталонное решение) и в среде пробной версии MSC.EASY5.

Схема описанного выше тормоза отката, реализованная в пакете EASY5, представлена на рисунке 2.

Базовые компоненты, из которых составлена данная схема, взяты из библиотеки Thermal Hydraulic. Математические модели, на базе которых построены данные компоненты, включают возможность учета зависимости свойств рабочей жидкости от давления, температуры, загазованности, а также расчет разогрева элементов конструкции вследствие диссипации механической энергии. Схема включает движущую силу $F(t)$ (компонент 1, далее сокращено – к. 1), заданную таблично.

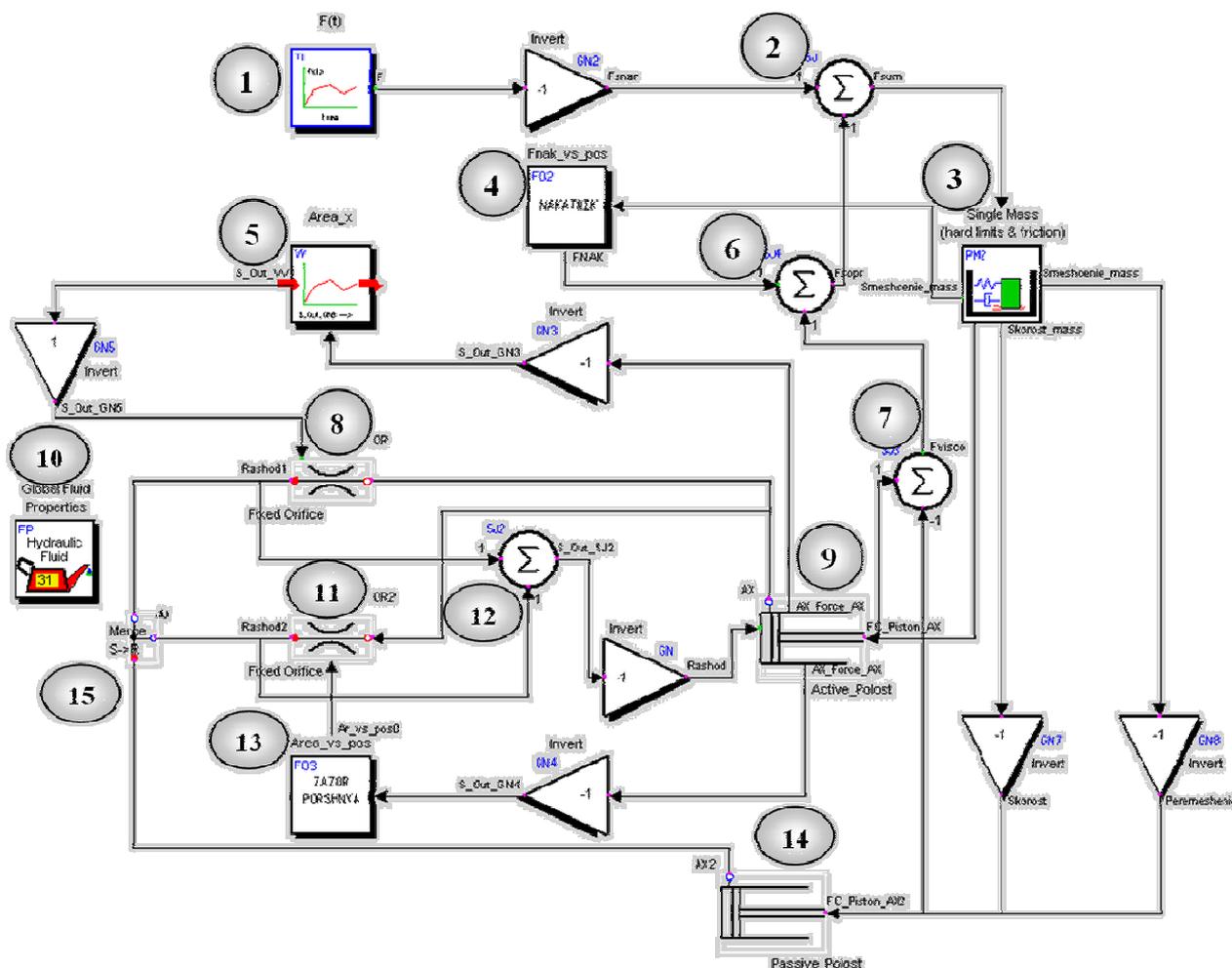


Рисунок 2 – Модель тормоза отката в пакете EASY5

График зависимости силы от времени показан на рисунке 3, а. Компонент 3 – масса m_0 . Входным параметром для расчета ускорения, скорости и перемещения массы выступает суммарная сила F_{sum} (компонент 2), равная сумме движущей силы $F(t)$ и силы сопротивления F_{sopr} (компонент 6). В свою очередь, F_{sopr} складывается из силы накатника FNAK (компонент 4) и силы вязкого сопротивления F_{visco} (компонент 7). Расчет FNAK проводится в FORTRAN – коде, реализующем зависимость (9), в качестве входного параметра используется перемещение (связь 3-9 на рисунке 2). Тормоз отката (рис. 1) представлен компонентами 5, 7-15. Компонент 10 (к. 10) описывает рабочую жидкость из стандартной библиотеки Thermal Hydraulic, по свойствам наиболее близкую к эталонной, использованной в тестовом расчете с учетом сжимаемости. Активная полость тормоза (I на рисунке 1) задана к. 9 (рис. 2) – однокамерным гидроцилиндром Actuator \Single Chamber с перемещением и скоростью штока в качестве входных параметров (Position, Velocity Input) и постоянной площадью A_m . Входные параметры передаются по связи 3-9. Жидкость перетекает в пассивную полость (II на рисунке 1, к. 14 на рисунке 1, аналогичный к. 9) через два дросселя – к. 8 и к. 11. Для синхронизации скоростей и перемещений штоков в к. 9, к. 14 созданы связи 3-14, передающие данные с массы, идентичные данным в связи 3-9, но с обратным знаком. Дроссель переменного сечения к. 8 моделирует гидросопротивление в канавочной щели (5 на рисунке 1). Табличная зависимость площади сечения (см. рис. 3, б) дросселя от перемещения задается компонентом 5, получающим на вход перемещение штока по связи 9-5. Часть жидкости перетекает из I в II через зазоры в уплотнениях поршня (к. 11), площадь которых задается как постоянная величина в FORTRAN – модуле к. 13. Потoki с выходов к. 8 и к. 11 суммируются в коллекторе (к. 15) и подаются на вход пассивного гидроцилиндра по связи 15-14.

Исключительно важными элементами данной схемы являются «обратные» связи 8-9 и 11-9. Необходимость их включения обусловлена особенностями элементов однополостных гидроцилиндров из стандартной библиотеки. Данные компоненты изначально моделируют агрегаты – движители (а не тормоза), у которых на входе стандартного гидравлическом порта (синяя окружность на к. 9, 11) должен быть задан массовый расход жидкости. Стандартная связь вида 9-11 синхронизирует только давления и их производные по времени. Поэтому на активную часть гидротормоза накладывается дополнительная комбинированная связь 8,11-9, суммирующая выходные потоки из обоих дросселей и подающая их на вход к. 9 с обратным знаком (расход при уменьшении объема полости к. 9 полагается отрицательным). При отсутствии подобных связей получить корректное решение невозможно.

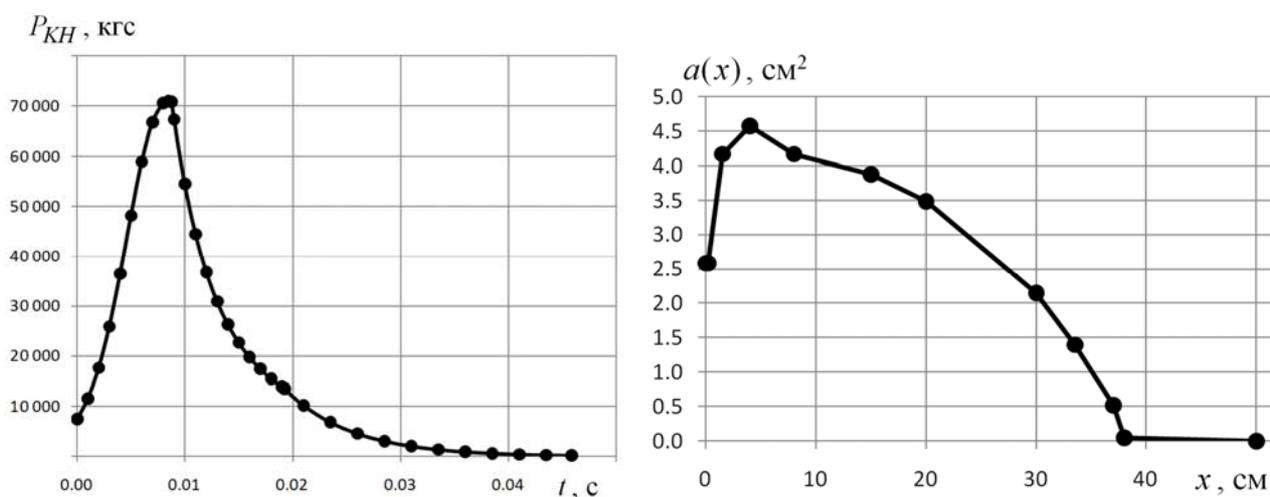


Рисунок 3 – Входные параметры задачи:

а) зависимость движущей силы от времени; б) площадь сечения канавок от перемещения

Задача в EASY5 решалась с шагом по времени 0.0005 с. Результаты расчетов представлены на рисунках 4, 5. На рисунке 4 показано изменение силы вязкого сопротивления гидротормоза по пути отката. Как видно из рисунка, наблюдается хорошее совпадение данных, полученных по модели в EASY5, с эталонным решением. Относительная невязка составляет не более 5% и может быть, в частности, объяснена недостаточным количеством точек при табличном описании профиля канавочного гидросопротивления (рис. 3, б). На рисунке 5 приведена зависимость от времени другой важной характеристики ПОУ - перемещения штока тормоза отката. Относительная погрешность полученного в EASY5 решения по данному показателю не превышает 1%.

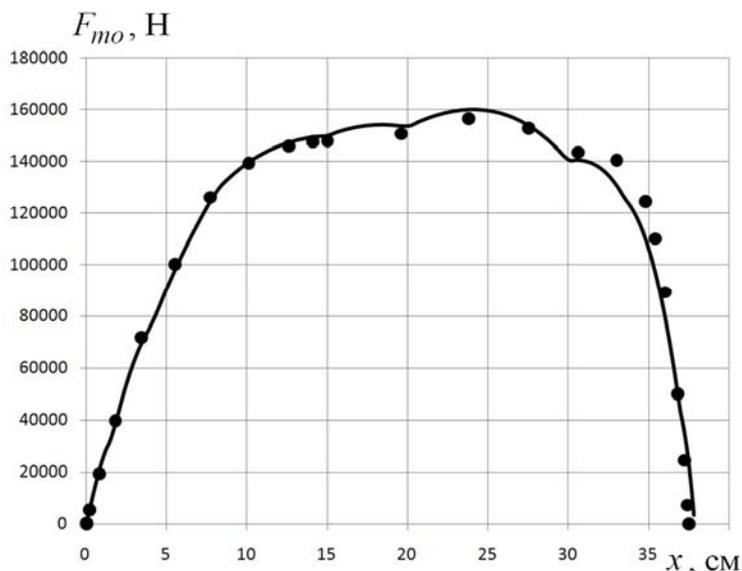


Рисунок 4 – Зависимость силы вязкого сопротивления от перемещения
Линия – расчет в EASY5, точки – расчет в эталонной FORTRAN-программе

Таким образом, разработана методика построения модели основного элемента противооткатного устройства – тормоза отката из компонентов библиотеки Thermal Hydraulic программы MSC.EASY5. Путем сравнения с эталонным решением показана достоверность полученных результатов. Использование данного подхода, благодаря визуально-модульной структуре математической модели, позволяет существенно ускорить разработку новых конструкций ПОУ во взаимодействии с виртуальным прототипом платформы артиллерийского орудия, созданном в MSC.ADAMS.

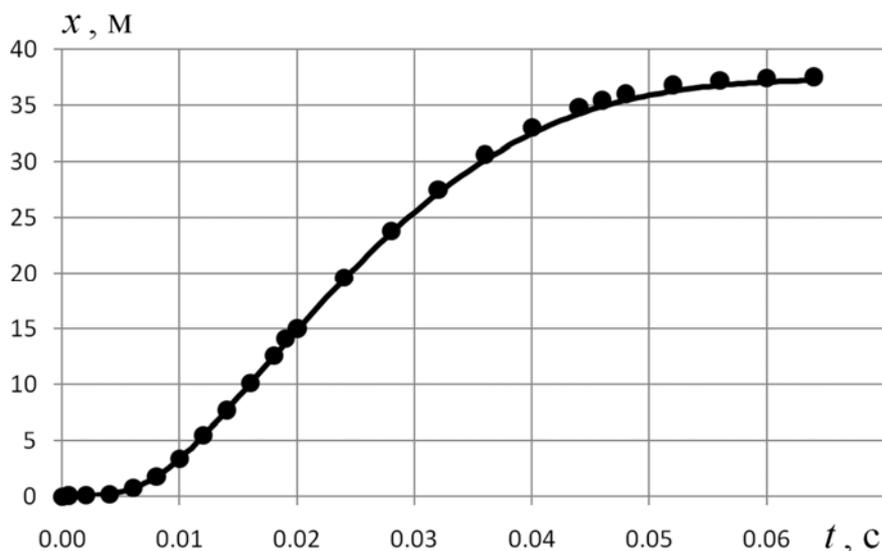


Рисунок 5 – Перемещение штока во времени
Линия – расчет в EASY5, точки – расчет в эталонной FORTRAN-программе.

Предметом дальнейших исследований является создание и верификация в MSC.EASY5 библиотеки схем существующих и перспективных конструкций ПОУ с учетом разогрева рабочей среды в процессе стрельбы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 13.G25.31.0093 от 22.10.2010 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гойдо М. Е. Проектирование объёмных гидроприводов / М. Е. Гойдо. – М. : Машиностроение, 2009. – 304 с.
2. Расчёт и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Е. Ю. Малиновский, Л. Б. Зарецкий, Ю. Г. Беренгард, М. М. Гайцгори; под ред. Е. Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
3. Навроцкий К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов / К. Л. Навроцкий. – М. : Машиностроение, 1991. – 384 с.
4. Марченко Л. В. Математическая модель гидропневматических процессов в устройствах автоматики / Л. В. Марченко // Оборонная техника. – 1980. – № 12. – С. 24 – 27.
5. Кочетков А. В. Моделирование работы противооткатных устройств с учётом стадии свободного отката / А. В. Кочетков, И. О. Савихин, В.В. Садовский // Проблемы прочности и пластичности: межвуз. сб. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. – Вып. 69. – С. 159-169.
6. Савихин И. О. Численное исследование нестационарных процессов в противооткатных устройствах / И. О. Савихин, В. В. Садовский // Проблемы прочности и пластичности : межвуз. сб. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. – Вып. 72. – 2010. С. 130-136.

Могильников Константин Александрович

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь
Студент
Факультет прикладной математики и механики
E-mail: mka490@mail.ru

Сметанников Олег Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь
Д-р техн. наук, доц. кафедры вычислительной математики и механики
E-mail: sou@cpl.pstu.ac.ru

Набоков Феликс Вячеславович

ЗАО "Специальное конструкторское бюро", г. Пермь
Канд. техн. наук, советник
Тел.: 89048454399
E-mail: nabokov-fv@yandex.ru

K.A. MOGILNIKOV, O.YU. SMETANNIKOV, F.V. NABOKOV

HYDROBRAKE MODELLING IN MSC.EASY5

The technique for creating a model of a basic recoil device element - brake rollback, using the components of the MSC.EASY5 program Thermal Hydraulic library is observed. The verification of the a test solution results of the problem rollback by comparing with the reference solution obtained. The use of visual-module structure of the mathematical model significantly accelerates the development of new recoil device structures in interaction with a virtual prototype artillery platform, created in MSC.ADAMS.

Keywords: *mathematical modeling; visual-module structure; brake rollback; Thermal Hydraulic*

BIBLIOGRAPHY

1. M.E. Goydo, Fluid Power Drive Designing. M.: Mechanical Engineering, pp. 304, 2009.
2. Construction Site Engines and Road-Building Vehicle Computation and CAD Designing / Yu.G. Berengard, M.M. Geitsgory et alii.; Under the Editorship of E.Yu. Malinovsky.-M.: Mechanical Engineering, pp.216, 1980.
3. K.L. Navrotsky, Theory and Designing Hydro- and Pneumatic Actuator. M.: Mechanical Engineering, pp. 384, 1991.
4. L.V. Marchenko, Simulator of hydro-pneumatic processes in devices of automated mechanisms // Defence Engineering, №12, pp. 24-27, 1980.
5. A.V. Kochetkov, I.O. Savikhin, V.V. Sadovsky, Modeling operation of counterback-blow devices taking into account free back-blow stage // Problems of Strength and Plasticity. Issue 69. Nizhny Novgorod, Publishing House of NNSU, Inter-College Collection, pp.159-169, 2007.
6. I.O. Savikhin, V.V. Sadovsky, Computational investigation of non-stationary processes in counterback-blow // Problems of Strength and Plasticity. Issue 72. Nizhny Novgorod, Publishing House of NNSU, Inter-College Collection, pp. 130-136, 2010.

Mogilnikov Konstantin Aleksandrovich

National Research Perm Technical University, Perm
Student
Faculty of Applied Mathematics and Mechanics
Phone: 89091106463
E-mail: mka490@mail.ru

Smetannikov Oleg Yurievich

National Research Perm Technical University, Perm;
Dr. of Technical Sciences, Assoc. Department of Computational Mathematics and Mechanics
Phone: 89048454399
E-mail: sou@cpl.pstu.ac.ru

Nabokov Feliks Vyacheslavovich

JSC "Special Design Bureau", Perm
Ph.D., Advisor;
Phone: 89048454399
E-mail: nabokov-fv@yandex.ru

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.9

С.В. АНДРЕЕВ, В.З. МОСИН, В.В. МОРИН, М.А. ЖИЛЯЕВ,
А.В. ПОЛЯКОВ, А.В. ВОЛОБУЕВ, А.В. КИРИЧЕК, Д.Е. ТАРАСОВ**УСТАНОВКА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ВОЛНОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

В статье представлено описание установки для упрочнения волной деформации плоских, криволинейных и внутренних цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: волна деформации, генератор импульсов, волновод.

Характерной чертой современного машиностроения является стремление к экономичному использованию ресурсов. Наиболее выгодным средством достижения этой цели выглядит повышение служебных характеристик материалов на стадии производства. Наибольший эффект достигается при увеличении износостойкости трудоёмких и дорогостоящих в изготовлении деталей машин. Это позволяет значительно увеличить срок службы машин и снизить затраты на производство новых изделий.

В настоящее время существует множество технологий обеспечивающих повышение износостойкости: термическая, физико-химическая, химико-термическая обработка, упрочнение концентрированными потоками энергии. Однако их применение зачастую ограничено конструкционными особенностями обрабатываемых изделий и дороговизной процесса. В связи с этим, наибольшее распространение получили методы поверхностного пластического деформирования (ППД), лишенные подобных недостатков. За счет сглаживания микронеровностей, создания остаточных напряжений сжатия и формирования регулярного микрорельефа, упрочнение с помощью ППД позволяет значительно увеличить долговечность, надежность и выносливость деталей машин.

Изучение методов ППД выявило ограниченные возможности варьирования глубиной и степенью упрочнения поверхностного слоя. Передовым направлением дальнейшего развития в области ППД является комбинирование статических и динамических способов обработки. Уникальным методом, при котором основное деформирующее воздействие происходит за счет волны деформации. При этом предварительное статическое нагружение инструмента создает благоприятные условия для более полной передачи энергии волны деформации [1].

Для исследования процессов упрочнения волной деформации необходимо управлять режимами обработки, в том числе возможность регулировать энергию и частоту ударов, силу статического поджатия, горизонтальное перемещение заготовки относительно инструмента. Исходя из этих требований, была спроектирована установка, представленная на рисунке 1.

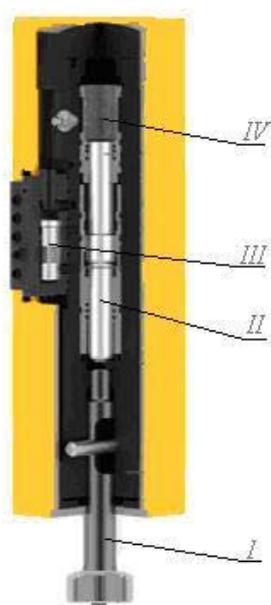
Подвод инструмента к поверхности обрабатываемой детали и его статическое нагружение осуществляется работой гидроцилиндра 19. При этом происходит осевое перемещение волновода в генераторе импульсов 10 (рис. 2), ограниченное пазом фиксации инструмента и происходит начальный взвод бойка. Дальнейший взвод производится подачей масла через гидравлический клапан управления. Происходит сжатие газообразного азота, находящегося в камере, обеспечивающего 85% энергии удара, оставшиеся 15% создает давление масла. При максимальном взводе бойка, его рабочий ход составляет 35 мм. В момент максимального взвода гидравлический клапан управления перепускает масло из полости взвода в полость разгона. При ударе бойка о волновод, по нему распространяется волна деформации к очагу обработки.

Горизонтальное перемещение стола, обеспечивает перемещение заготовки относительно инструмента, что позволяет производить обработку плоских поверхностей с различным коэффициентом перекрытия.

Для обеспечения подвода электропитания на выносном пульте управления 3 (рис. 3) установлен предохранительный выключатель 4. Запуск главного двигателя 5 и двигателя 6, приводящих в движение насосы 21 и 22 соответственно, гидростанции 2 (рис. 4) осуществляется путем нажатия кнопки «Пуск» 7. Кнопки 8 и 9 расположенные на лицевой панели пульта управления отвечают за вертикальное перемещение гидромолота 10 вверх вниз соответственно. Остановка двигателей осуществляется кнопкой 11. На приборной панели располагаются два тумблера: 12 – переключения режима настройки установки в рабочий режим; 13 – включения освещения.



Рисунок 1 – Установка для упрочнения волной деформации



*Рисунок 2 – Генератор волновой деформации в разрезе.
I – волновод с инструментом, II – боек, III – гидравлический клапан управления, IV – камера газообразного азота*



Рисунок 3 – Выносной пульт управления

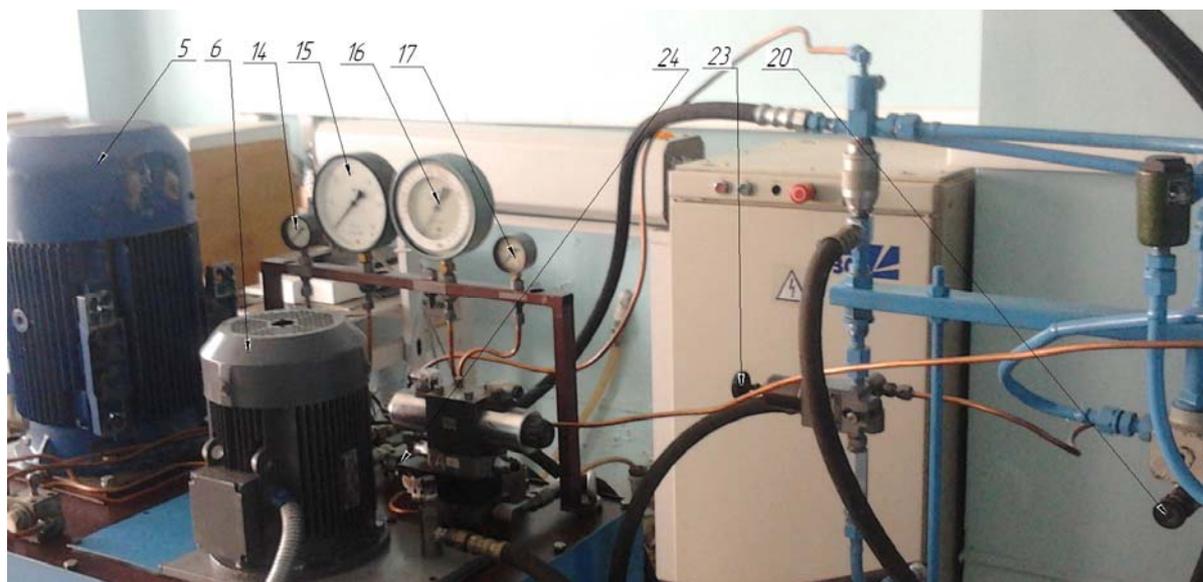
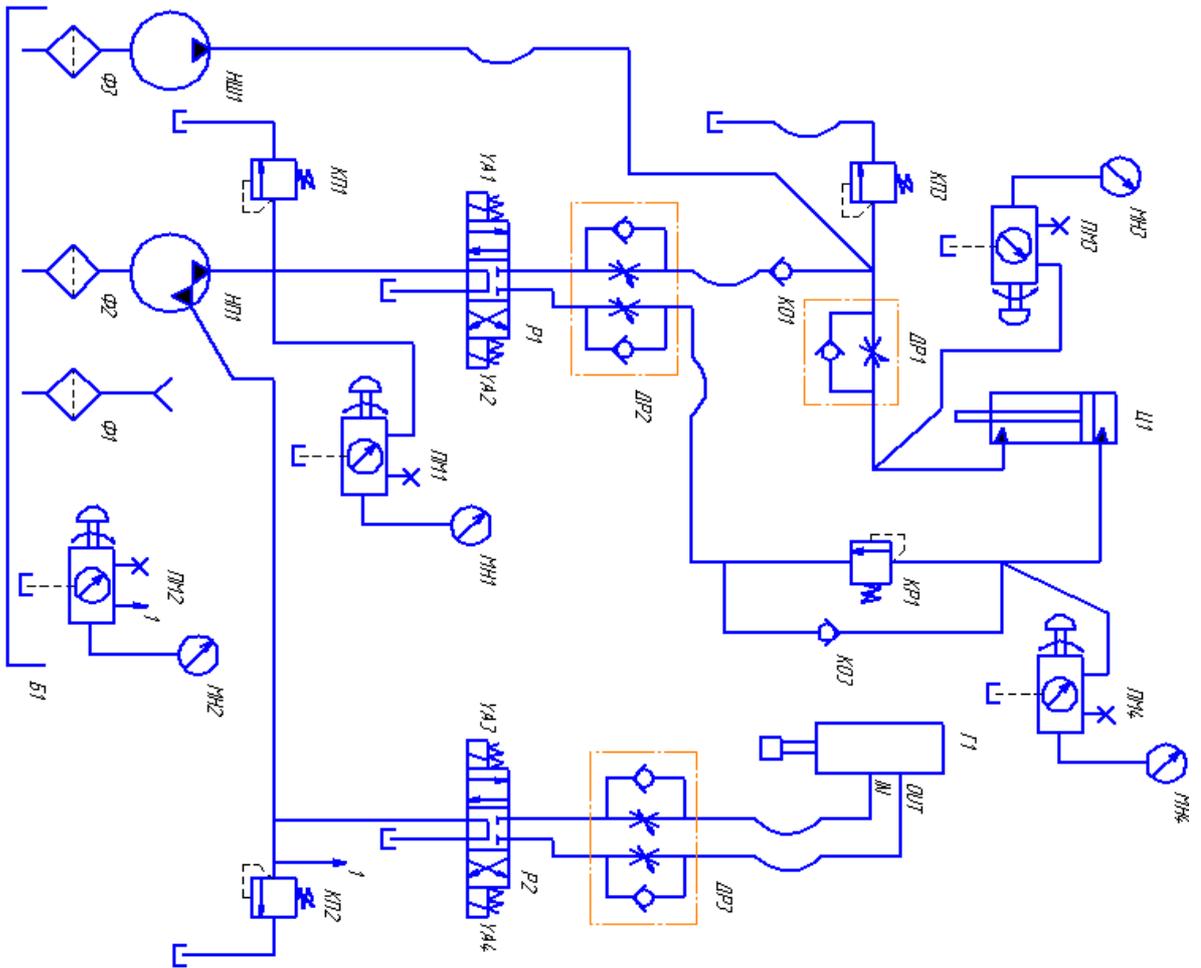


Рисунок 4 – Гидростанция

Для измерения параметров гидросистемы на гидростанции 2 установлены манометры 14-17. При работе системы на манометре 14 отображается выходное давление главного насоса 21, осуществляющего подачу масла в верхнюю полость гидроцилиндра 19 регулируемое предохранительным клапаном 18. На манометре 15 отображается давление в верхней полости цилиндра 19, регулируемое редуцирующим клапаном 20. Предохранительный клапан 23 осуществляет регулировку выходного давления насоса 22, обеспечивающего подачу масла в нижнюю полость цилиндра 19, показания снимаются на манометре 16. Регулировка энергии и частоты ударов производится регулировкой давления предохранительным клапаном 24 и отображается на манометре 17.

Технологическими факторами процесса обработки, регулируемые в широком диапазоне является: энергия удара A Дж, частота ударов f Гц, статическая сила поджатия $P_{ст}$ кН, скорость перемещения заготовки относительно инструмента, при обработке плоских и криволинейных поверхностей, S мм/с. Варьирование данных параметров в широком диапазоне позволяет производить обработку с глубоким упрочнением поверхности, отделочную или отделочно-упрочняющую. В зависимости от выбора обработки, ее проводят как промежуточную или финишную операцию. Так при глубоком упрочнении, происходит упрочнение металла на несколько мм, что позволяет производить дальнейшую отделочную обработку, например шлифование, без потери прочностных свойств поверхностного слоя. В случае отделочно-упрочняющей обработки, глубина упрочнения составляет 2...3 мм и низкая шероховатость поверхности, достигающая $Ra=0,08...0,1$ мкм, позволяет использовать ее в конце технологического маршрута [2, 3].

На рисунке 5 представлена гидравлическая схема установки для упрочнения волной деформации. Пластинчатый насос НП1 через всасывающий фильтр Ф2 из бака Б1 нагнетает давление в систему. Выходное давление насоса регулируется предохранительным клапаном КП1. Через гидрораспределитель Р1 и гидродроссель ДР2 масло проходит в верхнюю или нижнюю полость гидроцилиндра Ц1. Редуцирующий клапан КР1, на ветке верхней полости цилиндра, предназначен для варьирования статической силы поджатия инструмента. Шестеренчатый насос НШ1 через всасывающий фильтр Ф3 из бака Б1, обеспечивает давление в нижней полости цилиндра. Давление на выходе насоса НШ1 регулируется предохранительным клапаном КП3 и отображается на манометре МН3. Давление в генератор импульсов Г1, обеспечивает насос НП1, через гидрораспределитель Р2 и гидродроссель ДР3. Регулируется предохранительным клапаном КП2 и отображается на манометре МН2.



Наз. обознач. чертеж	Наименование	Кол.	Размерность
Г1	Генератор импульсов	1	Высота 40мм
Б1	Фильтр	1	
ДР1	Гидравлическая с абразивным клапаном КВЖ 106.11 ТУ 2-053-1753-85	1	
ДР2, ДР3	Гидравлическая с абразивным клапаном ДКЖ 10/3 УЖ/14	2	
	ТУ 2-053-1799-86		
ДР4, ДР5	Гидравлическая В-4/320 УЖ/14 ТУ 2-053-1706-84	2	
КО1	Клапан обратный КО1 103-2	1	
КО2, КО3	Гидравлическая абразивный 151-32 УЖ/14 ТУ 2-053-1649-83	2	
КО1, КО2	Гидравлическая обратный клапан УЖВ-10/3 ПН2 УЖ/14	2	д=20мм
	ТУ 2-053-1756-85		
КО	Клапан гидравлический БТ54-321 ТУ 2-053-1628-83	1	д=6,3мм
КР1	Гидравлическая движущий УЖВ-10/3 Т2Р1 ТУ 2-053-469594.0-89	1	д=20мм
ПН1, ПН2	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	2	д=60мм
ПН3, ПН4	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	2	д=60мм
ПН1	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	1	д=60мм
НШ1	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	1	д=60мм
НШ	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	1	д=60мм
ПН1, ДН4	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 25-1310.004.5-87	4	
Р1, Р2	Гидравлическая БТ 1064/124М УЖ/14 ГОСТ 24679-81	2	
Ш1	Гидравлическая	1	д=80мм, D=125мм
Ф1	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 2-053-1294-77	1	д=60мм, D=125мм
Ф2, Ф3	Манометр ПТТ-14-60мм ТУ 2-053-1294-77	2	д=60мм, D=125мм

Рисунок 5 – Гидравлическая схема установки для уточнения волной деформации

Таким образом, в зависимости от материала деталей, требования к точности и твердости несущих поверхностей может быть предложен ряд технологических маршрутов, включающих обработку волной деформации. При этом, широкий диапазон варьирования технологических факторов, позволяет производить упрочняющую, отделочно-упрочняющую и отделочную обработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек, А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием [Текст] / А. В. Киричек, Д. Л. Соловьев, А. Г. Лазуткин // Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
2. Технологические процессы поверхностного пластического деформирования [Текст] / А. В. Киричек, В. Ю. Блюменштейн, С. А. Зайдес, А. А. Мальсагов [и др.]. Под ред. С. А. Зайдеса. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. – 404 с.
3. Киричек, А. В. Волновое нагружение деформирующе-режущих протяжек [Текст] / А. В. Киричек, В. В. Морин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 4-2/282. – 120 с.

Андреев Сергей Васильевич
ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Канд. техн. наук
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Мосин Владимир Захарович
ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Канд. техн. наук, доцент
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Морин Владимир Валерьевич
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Аспирант кафедры «ТМиКТИ»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: valodyaka@yandex.ru

Жиляев Максим Андреевич
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Аспирант кафедры «ТМиКТИ»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: maxim57@bk.ru

Поляков Алексей Владимирович
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Ассистент кафедры «ТМиКТИ»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Волобуев Александр Владимирович
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Аспирант кафедры «ТМиКТИ»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Киричек Андрей Викторович
ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК», г. Орёл
Д-р техн. наук, профессор
Директор Технологического института им. Н.Н. Поликарпова
Тел./факс: (4862) 55-55-24
E-mail: avk@ostu.ru

Тарасов Дмитрий Евгеньевич
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»,
г. Орёл
Старший преподаватель кафедры «ТМиКТИ»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

A.V. KIRICHEK, D.E. TARASOV, S.V. ANDREEV, V.Z. MOSIN, V.V. MORIN,
M.A. GILYAEV, A.V. POLYAKOV, A.V. VOLOBUEV

INSTALLATION FOR HARDENING OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION WAVE

The article describes the installation for hardening the surface of plastic deformation of the wave flat, curved and internal cylindrical surfaces.

Keywords: static-pulsed treatment, the generator of the wave deformation, waveguide.

BIBLIOGRAPHY

1. Kirichek, A.V. technology and equipment static-pulsed processing of surface plastic deforming [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Soloviev, A.G. Lazutkin // Library of process engineer. - Moscow: Mashinostroenie, 2004. – 288 p.
2. The technological processes of surface plastic deforming [Text] / A.V. Kirichek, V.Y. Blumenshtein, S.A. Zaydes, A.A. Malsagov [and others]. Ed. by S.A. Zaydes. - Irkutsk: Publishing House of IrSTU, 2007. - 404 p.
3. Kirichek, A.V. Wave loading deforming-cutting broaches [Text] / AV Kirichek, V. Morin // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2010. - № 4-2/282. - 120 p.

Andreev Sergey Vasilievich
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Candidate of Technical Sciences
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Mosin Vladimir Zaharovich
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Candidate of Technical Sciences
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Morin Vladimir Valer'evich
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Postgraduate student
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: valodyaka@yandex.ru

Jilyaev Maxim Andreevich
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: maxim57@bk.ru

Polyakov Alexey Vladimirovich
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Volobuev Alexander Vladimirovich
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University –
ESPC», Orel
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

Kirichek Andrey Victorovich
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Dr. of Technical Sciences, Prof., Director of Polikarpov TI
Phone (4862) 555524
E-mail: avk@ostu.ru

Tarasov Dmitry Evgenievich
Polikarpov Technological Institute FSBEI HVT «State
University – ESPC», Orel
Phone. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

УДК 621.941.025.7

А.А. ПРЯЖНИКОВА, А.С. СМЕТАНИН

**РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМЕННЫХ
МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Произведен сравнительный анализ режущих свойств твердосплавных СМП производства КЗТС (Россия), Sandvik-МКТС (Россия), SECO (Швеция) и Korloy (Корея) в условиях чистовой токарной обработки.

Ключевые слова: твердосплавная сменная многогранная пластина, чистовая токарная обработка, износ по задней поверхности, форма стружки.

Рынок твердосплавных сменных многогранных пластин (СМП) российского производства является динамично развивающимся с темпом роста 12,6% в год, объемом, примерно, 110 млн. рублей [1]. При этом основные эксплуатационные показатели инструментов СМП, такие как износостойкость, стружкодробящая способность, допускаемая скорость резания, вплотную приближаются к зарубежным аналогам. Об этом свидетельствуют результаты лабораторных испытаний, приведенных в [2]. Это также подтверждается и результатами промышленной эксплуатации СМП производства ОАО «КЗТС» на различных машиностроительных предприятиях Российской Федерации. Так, по данным ООО «Компания РИТС» (официальный дилер ОАО «КЗТС») твердосплавные СМП нового поколения являются эффективной заменой своих аналогов известных фирм Sandvik Coromant, SECO, Korloy, ISCAR

и т. д. [3]. Обобщая результаты лабораторных и производственных испытаний, можно заключить, что износостойкость отечественных СМП начинает соответствовать лучшим мировым образцам.

Обеспечение стабильного стружкодробления в процессе резания основывается на геометрической конфигурации передней поверхности СМП с учетом условий обработки: чистовая, получистовая, черновая. Проведенный анализ показал, что на СМП нового поколения производства ОАО «КЗТС» она копируется с зарубежных аналогов. Так, геометрия передней поверхности с индексом «M2» соответствует геометрии «TF» фирмы ISCAR. Индекс «H1» соответствует геометрии «GH» фирмы Korloy и т. д.

Целесообразность такого подхода при создании отечественных СМП была проверена при комплексной оценке эксплуатационных свойств СМП формы CNMG 120408-M2 из твердого сплава марки TC20PT с областью применения по ИСО P20. Для сравнения были подобраны СМП 3-х различных фирм, которые имеют схожую область применения. Учитывая это, эксперименты были проведены при обработке легированной стали 38X2MЮА (материал группы P по ИСО). Как было отмечено выше, геометрия M2 соответствует геометрии TF фирмы ISCAR, которая предназначена для получистовой обработки ($t=1-4$ мм, $S=0,12-0,35$ мм/об) конструкционных углеродистых, легированных, а также нержавеющей сталей. В связи с этим в опытах была принята глубина резания $t=1,0$ мм и подача $S=0,17$ мм/об из ряда подач станка модели 1K625, принятого в качестве оборудования. В качестве инструмента использовали резец PCLNR 2525-K12 (с углами $\varphi=95^\circ$, $\varphi_1=5^\circ$). Проведение экспериментов было организовано следующим образом. Заготовку с исходным диаметром 80 мм при вылете 600 мм закрепляли в 3-х кулачковом патроне с поджимом вращающимся центром задней бабки. Обработку производили без применения СОТС по методу последовательных проходов. При этом уменьшение скорости резания, обусловленное уменьшением диаметра обработки, компенсировали переключением коробки скоростей на следующую большую частоту вращения шпинделя.

Для того чтобы поставить сравниваемые СМП в более одинаковые условия, каждый последующий проход чередовался новой СМП. За критерий затупления контактных поверхностей был принят линейный износ задней поверхности, который измерялся на инструментальном микроскопе БМИ-1 с последующим фиксированием характера изнашивания на цифровую фотокамеру. Кроме того, для более объективной оценки износостойкости сравниваемых СМП учитывали не только время ее работы, но и пройденный путь резания, который также уменьшается с уменьшением диаметра заготовки. Оценку формы и размеров стружки проводили по собранным ее образцам. При этом, в соответствии с рекомендациями фирмы Sandvik Coromant, за приемлемую принимается стружка, длина спиралей которой не превышает 100 мм. Процесс формирования стружки на передней поверхности СМП также фиксировался на цифровую фотокамеру, что позволяет визуально оценить влияние на него отличия в конфигурации сравниваемых поверхностей.

В качестве первого аналога для сравнения была принята СМП формы CNMG 120408043 из сплава СТ35М (с областью применения по ИСО P35), производства Sandvik-MKТС, несмотря на то, что его износостойкость должна быть ниже, чем у отечественного сплава с областью применения P20. Обоснованность его применения была вызвана тем фактом, что сплавы производства КЗТС более раннего выпуска уступали своим зарубежным аналогам даже при меньшем номере подгруппы его применения по ИСО [4].

Вторым аналогом являлась СМП формы CNMG 120408-M3 из сплава марки ТК2000 (P15) фирмы SECO (Швеция), а третьим аналогом – СМП формы CNMG 120408-GM из сплава NC 3120 (P15-P30) южно-корейской фирмы Korloy.

Результаты стойкостных испытаний, сравниваемых СМП, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

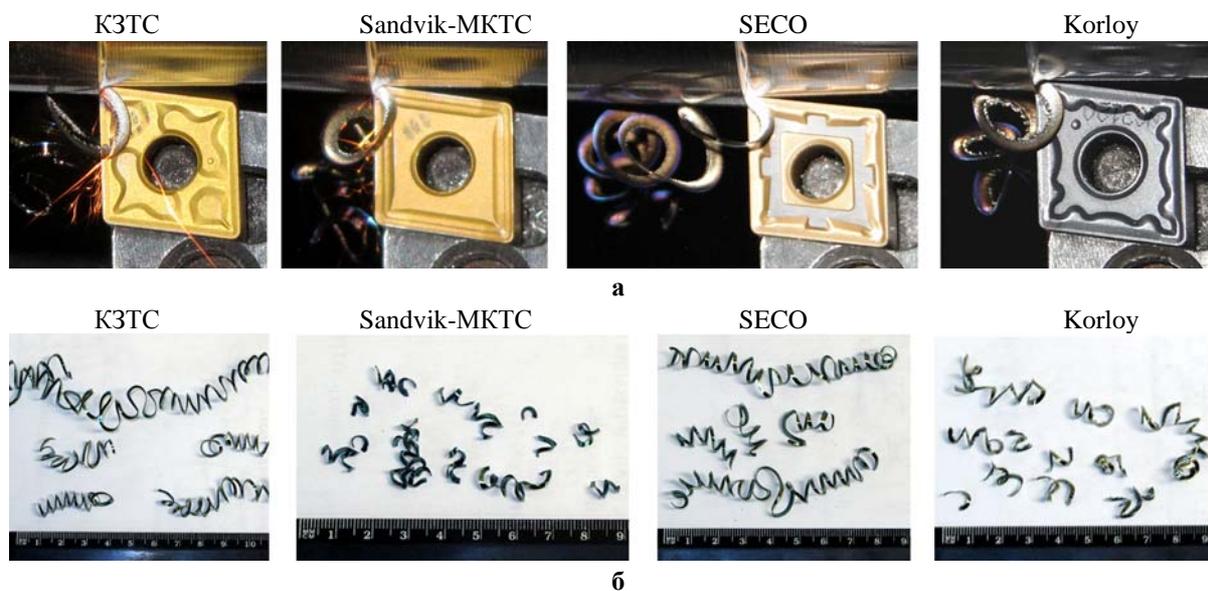
СМП	Диаметр заготовки D, мм; частота вращения шпинделя, n об/мин	Средняя скорость резания, м/мин	Путь резания, м	Время работы, мин	Износ задней поверхности, мм
CNMG 120408-M2 TC20PT (P20) КЗТС 	D=71-48 n=1250, 1600	264	1962	7,39	0,17
CNMG 120408-43 CT35M (P35) Sandvik-MKTC 	D=67 n=1250	263	700	2,66	0,26
CNMG 120408-M3 TK2000 (P15) SECO 	D=60-50 n=1250, 1600	266	2556	9,78	0,18
CNMG 120408-GM NC3120 (P15-P30) Korloy 	D=64-58 n=1600	262	1170	4,72	0,32
	D=52 n=1600	261	543	2,07	0,08

Из них видно превосходство сплава TC20PT (P20) над маркой CT35M (P35), что свидетельствует о возросшем качестве отечественных сплавов нового поколения. Тем не менее, он несколько уступает сплаву TK2000, имеющего очень близкую к нему область применения по ИСО P15.

При оценке режущих свойств СМП из сплава NC3120 произошел скол на главной режущей кромке, в результате чего износ задней поверхности на вершине СМП составил 0,32 мм. При повторных испытаниях из-за малого диаметра заготовки (D=52 мм) в процессе резания возникли вибрации, что не позволило окончательно выявить его потенциальные режущие свойства.

Оценка стружкодробящей способности передних поверхностей сравниваемых сплавов показало следующее. На рисунке представлены фотографии процесса стружкозавивания на них, а также образцы стружки. Из них следует, что в условиях данных экспериментов наиболее компактная стружка формируется на передней поверхности с индексом «43» (Sandvik-MKTC). Для геометрии «M2» (КЗТС) характерна стружка с длиной спирали более 100 мм, что делает ее неприемлемой для работы на станках с ЧПУ. Следовательно, при решении вопроса выбора конфигурации передней поверхности на отечественной СМП для полустойкой обработки, более предпочтительной является геометрия «43». Кроме того, аналогичная геометрия с классическими стружкозавивающими канавками ранее использовалась на СМП из твердых сплавов серии МС по ТУ 48-19-307-80, выпускаемых МКТС в 80-е годы прошло-

го столетия по лицензии фирмы Sandvik Coromant. В таком случае не возникает вопросов о правомочности использования зарубежных аналогов форм передней поверхности на СМП отечественного производства.



*Рисунок – Результаты экспериментов:
а – сход стружки по передней поверхности; б – форма стружки*

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Режущие свойства твердых сплавов нового поколения производства КЗТС способны составить серьезную конкуренцию зарубежным аналогам, что весьма актуально для отечественной промышленности.
2. При выборе формы передней поверхности на СМП для получистового точения отечественного производства предпочтение следует отдать геометрии с индексом «43».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «Кировградский завод твердых сплавов». Каталог. Пластины сменные многогранные твердосплавные. 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kzts.ru>.
2. Иванов, В. В. Перспективы применения режущих инструментов с СМП российского производства [Текст] / В. В. Иванов, А. А. Пряжникова // Технические науки : проблемы и перспективы : сб. статей междунар. заоч. науч. конф. – СПб. : Молодой ученый, 2011. – С. 134-137.
3. ООО «Компания РИТС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ritsgroup.ru>
4. Борискин, О. И. Повышение эффективности чистовой токарной обработки на основе применения токарных резцов с СМП [Текст] / О. И. Борискин, В. В. Иванов, Е. В. Павлова. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2009. – 151 с.

Пряжникова Анастасия Анатольевна
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
Аспирант
E-mail: drakon-220188@mail.ru

Сметанин Андрей Сергеевич
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
Магистрант
E-mail: andersen90@yandex.ru

A.A. PRYAZHNIKOVA, A.S. SMETANIN

CUTTING PROPERTIES OF HARD INDEXABLE INSERTS NEW GENERATION OF RUSSIAN INDUSTRY

A comparative analysis of carbide cutting properties of SMP production KZTS (Russia), Sandvik-MKTS (Russia), SECO (Sweden) and Korloy (Korea) in a finish turning process.

Keywords: carbide indexable insert, finishing turning, flank wear, shape of the chip.

BIBLIOGRAPHY

1. JSC "Kirovgrad hard alloys." Catalogue. Inserts of indexable carbide. 2010 [electronic resource]. - Mode of access: <http://www.kzts.ru>.
2. V.V. Ivanov, A.A. Pryazhnikova. Prospects for the use of cutting tools with the indexable insert produced in Russia. // Engineering: Problems and Prospects: Sat. articles of the International scientific conference correspondence. Saint-Petersburg.: A young scientist, 2011. P. 134-137.
3. JSC "Company Ritsu" [electronic resource]. - Mode of access: <http://www.ritsgroup.ru>
4. Boriskin O. Improving the efficiency of finishing turning on the basis of turning cutters with indexable inserts / Boriskin OI, Ivanov VV, Pavlova, EV - Tula Tula State University Publishing House, 2009. 151 p.

Pryazhnikova Anastasia Anatolevna

FSBEI HVT «Tula State University», Tula
Post graduate student
E-mail: drakon-220188@mail.ru

Smetanin Andrew Sergeevich

FSBEI HVT «Tula State University», Tula
Undergraduate
E-mail: andersen90@yandex.ru

УДК 621.9

А.О. ЧУПРИКОВ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМП ПРИ ЧИСТОВОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассмотрены вопросы рационального использования дорогостоящих твердосплавных СМП при чистовой токарной обработке тонкостенных деталей приводящие к снижению затрат на их приобретение.

Ключевые слова: станок с ЧПУ, многопроходное нарезание резьбы резцом, тонкостенная корпусная деталь, высокопрочная сталь, стойкость инструмента, внутренняя упорная резьба, комбинированная схема резания, комбинированный резец.

В настоящее время инструменты зарубежного производства широко применяются для оснащения технологических процессов механической обработки в машиностроении Российской Федерации. Во многом это обусловлено превосходством их эксплуатационных показателей над отечественными аналогами. Особенно они востребованы при изготовлении деталей на современных металлорежущих станках с ЧПУ (числовым программным управлением), также импортируемых из-за рубежа. Применяются зарубежные инструменты и для оснащения отечественных станков с ЧПУ. В этом случае в структуре себестоимости продукции существенно увеличивается доля затрат на приобретение инструментов, т.к. их рыночная стоимость высока. Так, по данным Hoffman Group [2] стоимость одной СМП (сменная ме-

таллорежущая пластина) типа CNMG 120404 в 2010 году достигала 400 рублей и выше, в зависимости от ее производителя.

В ряде случаев сокращение этих затрат возможно путем увеличения нормативного срока эксплуатации СМП, которого можно достигать по 2-м направлениям. При этом, их реализация возможна тогда, когда замена вершины СМП производится по критериям технологического затупления. Это характерно для чистовой обработки деталей нежесткой конструкции при повышенных требованиях к геометрической точности и шероховатости обработанных поверхностей. При таких условиях, как правило, ограничивающим фактором является износ задней поверхности, величина которого не превышает $0,1 \dots 0,2$ мм. Поэтому первое направление предусматривает повторное использование СМП с такой степенью затупления полностью не выработавших свой ресурс на других операциях, допускающих большую величину износа, например, получистовых, или при обработке более жестких деталей и т.п.

Второе направление, как это не парадоксально, предусматривает перетачивание затупленных СМП по передней поверхности даже при наличии на них износостойких покрытий. Правомочность такого решения обосновывается тем, что при чистовом точении преимущественному изнашиванию подвергается задняя поверхность. При такой переточке на передней поверхности необходимо сформировать уступ, который будет выполнять функции удаленных стружкоформирующих элементов СМП. Геометрические параметры уступа подбирается индивидуально для каждого конкретного случая обработки по существующим многочисленным рекомендациям в этой области, например, приведенным в работе [1]. После переточки СМП ее вершина смещается ниже оси центров детали, что приводит к увеличению рабочего заднего угла при наружном обтачивании. С учетом погрешности установки инструмента по высоте центров и величины переточки это смещение в самом неблагоприятном случае не превысит 0,5 мм. При наружном обтачивании заготовок диаметром более 20 мм влияние этого на процесс резания можно пренебречь. При растачивании складывается иная ситуация, т.к. такое смещение уменьшает величину рабочего заднего угла. Однако при диаметре растачиваемого отверстия более 40 мм это также можно не принимать во внимание. При таком подходе возникнут дополнительные затраты на переточку СМП, но они будут меньше затрат на приобретение новых. Следует особо подчеркнуть то, что практическая реализация этих двух направлений основывается на строгом соблюдении технологической дисциплины, которая является необходимым условием обеспечения требуемого качества продукции. Это также потребует четкую организацию ведения инструментального хозяйства (установление регламентов в замене СМП, их сортировку, организацию переточки и т.п.). Тем не менее, все это позволит предприятию выпускать качественную продукцию при минимальной ее себестоимости.

Ниже приводятся некоторые результаты использования описанных решений в конкретной производственной ситуации на примере обработки тонкостенной корпусной детали из высокопрочной стали ($\delta_b=1500$ МПа) (рис. 1) на токарном станке с ЧПУ модели 16A20Ф3С49. Крепление заготовки детали осуществляется консольно в 3-х кулачковом патроне со специальными охватывающими кулачками. При ее изготовлении определенные трудности возникают при нарезании внутренней упорной резьбы СП.УП. 105x3. Тонкая стенка детали (2,1 мм) и ее высокая прочность затрудняют стабильное получение требуемых параметров резьбы и снижают стойкость инструмента.

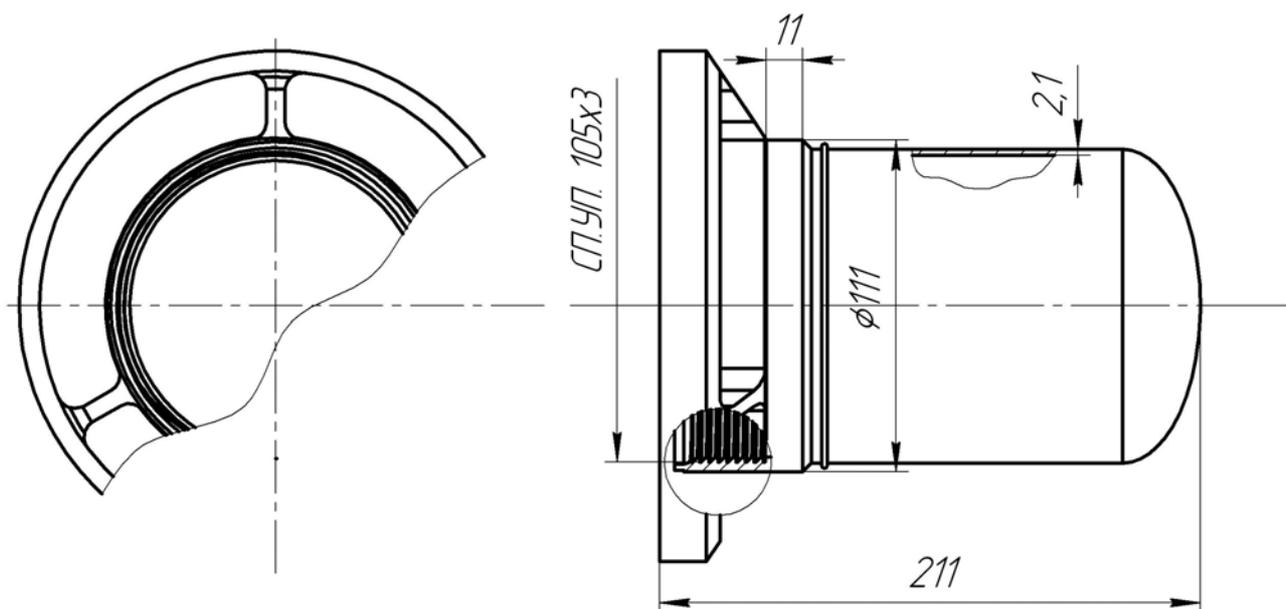


Рисунок 1 – Тонкостенная корпусная деталь

В качестве последнего используется резец AVRC 25D-4 фирмы Vardex, оснащенный СМП специальной формы 4IR3.0SAGE из твердого сплава VKX с широкой областью применения по ИСО. Стоимость резцовой державки составляет 1800 руб., а СМП – 2290 руб.

При отработке технологии экспериментально определены количество проходов $i=29$ и частота вращения шпинделя $n=145$ об/мин, обеспечивающие максимальную виброустойчивость технологической системы. В процессе производства данной детали установлено, что стойкость одной вершины СМП, в среднем, составляет 12 деталей. Критерием ее замены служит необходимость ввода коррекции по оси X после обработки каждой детали для получения значения среднего диаметра резьбы в пределах допуска, которая возникает после обработки 8 деталей. Проведенные измерения показали, что этому моменту соответствует износ задней поверхности на участке вершине СМП со стороны угла профиля резьбы 3° в пределах 0,46 мм. При этом следует учитывать характерную особенность многопроходного нарезания резьбы резцом, которая заключается в том, что профиль резьбы окончательно формируется только на последнем проходе. Все предшествующее этому время кромки резца непродуктивно изнашиваются при выполнении предварительных проходов. В результате этого потенциал резьбовых резцов по допустимому износу используется нерационально, что сокращает ресурс его продуктивной работы. Этот недостаток частично устраняется путем применения комбинированной схемы, при которой значительный объем резьбовой впадины предварительно вырезается другим резцом с более прочной вершиной. Это делается для того, чтобы максимально разгрузить наиболее уязвимую вершину резьбового резца, которая подвержена наибольшему изнашиванию.

В нашем случае реализацию комбинированной схемы резания можно осуществить следующим образом. Для обработки данной резьбы целесообразно использовать два одинаковых резьбовых резца, один из которых будет черновым, работающим с большим числом проходов. Второй резец будет выполнять функции чистового при меньшем числе проходов. При этом СМП, затупленные до величины их допустимого износа на чистовых проходах переводятся в разряд черновых и переставляются на соответствующую резцовую державку. В результате этого максимально полно будет использоваться потенциальный ресурс данной дорогостоящей СМП.

Проведенная экспериментальная проверка этого предложения показала следующее. На чистовом резце при $i=4$ количество обработанных деталей одной вершиной увеличилась

до 20. После перестановки этой вершины на черновой резец при $i=25$, ее стойкость составила также 20 деталей. При этом критерием ее замены служит износ задней поверхности на том же участке вершины СМП в пределах $\delta=0,7$ мм.

Экономическая целесообразность такого решения подтверждается следующими расчетами, проведенными для условной программы выпуска изделий 1000 штук, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение затрат на приобретение СМП

Вариант технологии	Потребное кол-во СМП (с учетом случайной убыли), шт	Затраты на приобретение СМП, руб	Экономия, руб
Существующий	30	68700	–
Предполагаемый	20	45800	12900

При этом не учтен процент негодных деталей, забракованных по параметрам резьбы, который по статистике составляет соответственно для существующего и предлагаемого вариантов в 20% и 4%. Поэтому реальный экономический эффект от реализации предлагаемого решения будет больше.

Дальнейшее совершенствование предложенного технического решения нашло свое отражение в заявке на изобретение «Способ нарезания резьб и резьбовой резец» (рег. №2011122857 от 06.06.11 г.). В ней предложено вместо 2-х резцов использовать один комбинированный с 2-мя вершинами. Это позволит сократить вспомогательное время, связанное с заменой чернового резца на чистовой, что весьма важно при невысоких скоростях холостых ходов на токарных станках данной модели.

Повышение ресурса СМП путем их переточки было проверено при растачивании отверстия под нарезание вышеупомянутой резьбы. В качестве инструмента для этой цели применяется расточной резец A25R SCLCR – 12, который оснащается СМП формы CCMT 120408E – 73 из сплава NL30 фирмы STELLRAM с широкой областью применения по ИСО: P10-P30, M15-M30, K10-K30, S15-S25. Обработка осуществляется за несколько проходов в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2, с подачей $S=0,08$ мм/об и частотой вращения шпинделя $n=187$ об/мин ($V_c=60$ м/мин). Опыт эксплуатации таких СМП показал, что допустимая величина износа ее вершины по задней поверхности составляет 0,3 мм, поскольку при большей величине наблюдаются местные дефекты на режущей кромке в виде сколов. В среднем, это соответствует 50 обработанным деталям. При этом, явно выраженных следов износа на передней поверхности не наблюдается. В результате переточки вершины одной из затупленных таких СМП режущая кромка сместилась ниже центра на 0,3 мм. Кроме того, для уменьшения риска возникновения вибраций путем заточки при вершине СМП был сформирован угол $\varepsilon 35^\circ$, что обеспечило значение вспомогательного угла в плане $\varphi_1=50^\circ$ (рис. 3).

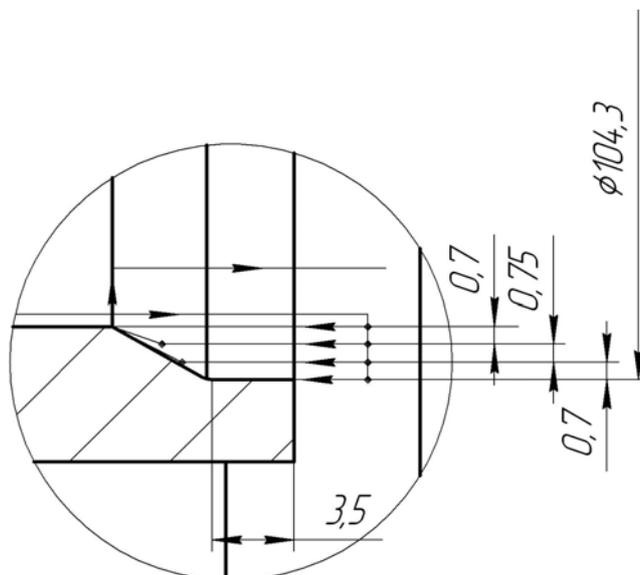


Рисунок 2 – Схема обработки внутренних поверхностей

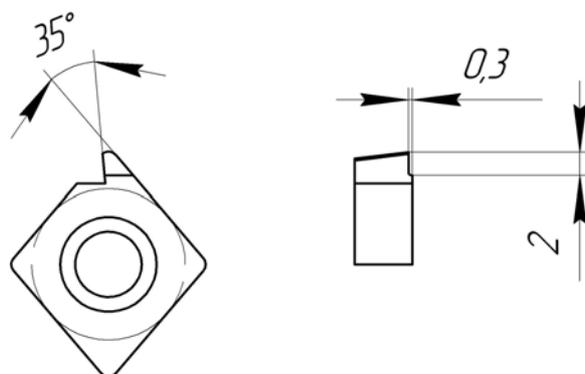


Рисунок 3 – Схема доработки СМП ССМТ 120408Е – 73 NL30

Повторное использование СМП с переточенной вершиной при тех же условиях резания показало следующее. После обработки 5 деталей износ задней поверхности составил 0,07 мм. Видимых следов износа на передней поверхности также не наблюдается.

Это подтверждает возможность применения СМП с удаленным с передней поверхности слоем износостойкого покрытия при данных режимах резания.

Параметры заточенного уступа на передней поверхности обеспечивает получение практически такой же стружки, как и при исходной геометрии СМП, что следует признать приемлемым.

Несмотря на ограниченное количество обработанных деталей (на момент проведения данных экспериментов в плане производства предприятия изготовление данных деталей не предусмотрено), полученные результаты вселяют уверенность в целесообразности использования и этого мероприятия для сокращения затрат на приобретение инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчиков, В. И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов [Текст] : Справочник / В. И. Баранчиков, А. В. Жаринов, Н. Д. Юдина [и др.]; под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Профессиональный инструмент. Hoffmann Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hoffmann-group.com>

Чуприков Артём Олегович

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
Аспирант кафедры «Инструментальные и метрологические системы»
Тел. 8-910-945-75-47,
E-mail: artemline@rambler.ru

A.O. CHYPRIKOV

RATIONAL USE OF HARD-ALLOY RMI AT FINISH TURNING

Questions of rational use of expensive hard-alloy RMI are considered at finish turning processing of thin-walled details bringing to decrease in expenses for their purchase.

Keywords: *machine of CNC, multipass threading cutter, a thin-walled case part, high-strength steel, the internal hard thread, tool life, the combined scheme of cutting, a combined cutter.*

BIBLIOGRAPHY

1. Baranchikov V. Progressive cutting tools and the cutting of metals [Text]: Guide / V. Baranchikov, A. Jarinov, N. Yudina; Ed. Baranchikov V. – M.: Machinery, 1990. – 400с.
2. Professional cutting tool | Hoffmann Group [<http://www.hoffmann-group.com>].

Chyprikov Artem Olegovich

FSBEI HVT «Tula State University», Tula
Department “Instrumental and metrological systems”
Post-graduate student
Phone 8-910-945-75-47,
E-mail: artemline@rambler.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК 658.512.2.011.56

А.В. АВЕРЧЕНКОВ, В.И. АВЕРЧЕНКОВ, М.В. ТЕРЕХОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ОБРАБОТКИ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

Рассмотрены вопросы автоматизированного подбора режущего инструмента и инструментальных стратегий обработки. Описаны разработанные программные модули для автоматизации процедур выбора режущего инструмента со сменными неперетачиваемыми пластинами.

***Ключевые слова:** инструмент, резец, инструментальная стратегия обработки, сменная пластина, режимы резания, САПР, автоматизированная система, станок с ЧПУ.*

Для современных промышленных предприятий наиболее актуальными задачами являются: снижение трудоемкости и себестоимости изготовления деталей с обеспечением заданных показателей качества. Поэтому технологические бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов изготовления деталей с учетом возможностей, предоставляемых современным оборудованием и высокопроизводительным инструментом, информационным и программным обеспечением.

В настоящее время широко используются конструкции сборных режущих инструментов одного служебного назначения, но различающихся способами установки и крепления режущих элементов – пластин, т.е. структурной компоновкой и параметрами – размерами пластин, корпусных элементов или элементов крепежа. Ведущими мировыми производителями инструмента разработано большое количество сборных инструментов одинакового целевого назначения, а подходящую конструкцию пользователь выбирает на основании не всегда объективных рекламных материалов или производственного опыта. При этом количество возможных вариантов выбора может достигать сотен и более. Следует отметить, что ведущими производителями режущего инструмента разработаны ряд баз данных и экспертных систем для выбора инструмента. Однако они не имеют интеграции с современными CAD-CAM системами, достаточно сложны в использовании и не позволяют сравнить между собой конструкции инструментов со схожими параметрами или конструкции, укомплектованные из сборочных элементов различных производителей, а также изменить критерии выбора рациональных вариантов конструкций инструментов.

Большинство задач, возникающих в деятельности машиностроительных предприятий, сводятся к принятию решений на основе определенного объема исходных данных. Важно отметить, что большинство критериев принятия решений для задач автоматизации технологической подготовки производства имеют размытый, нечеткий характер, зачастую описываемый качественными, а не количественными показателями.

При выборе рационального режущего инструмента для обработки учитывались его параметры по следующим критериям: прочность режущей кромки, возможность возникновения вибраций, качество отвода тепла из зоны резания, качество стружкообразования и требуемая для обработки мощность оборудования, а также универсальность режущего инструмента, определяемая наибольшим количеством операций, в которых может использоваться этот инструмент.

Далее задачу выбора режущего инструмента рассмотрим для наиболее распространенного процесса обработки точением на многофункциональных станках с ЧПУ,

которую следует относить к классу многокритериальных задач определения рационального варианта и ее решение представляет собой достаточно сложную проблему. При этом отдельные критерии могут быть противоречивыми и иметь противоположный смысл [2].

При решении задачи выбора рационального инструмента ситуация заметно усложняется, если критерии выбора имеют различную степень важности. В этих случаях возникает необходимость согласования критериев с учетом степени значимости каждого из них. Для нахождения экстремума функции нескольких переменных в работе был использован максиминный способ свертки критериев [3].

Для проведения исследований по выбору рационального режущего инструмента для токарной обработки на станках с ЧПУ необходимо определить множество доступных для применения на предприятиях видов инструментов [1]. Для проведения исследований и отработки методики было выбрано множество инструментов, соответствующее международным стандартам ISO 1832:2004 – «Пластины многогранные сменные для режущих инструментов. Обозначение» и ISO 5610-1:2010 «Державки с прямоугольным хвостовиком для режущих пластинок (Часть 1). Общий обзор, корреляция и определение размеров». При этом все множество выбранного инструмента выпускается большинством производителей режущего инструмента. Таким образом, проводимое исследование затрагивает большую часть применяемого в современном машиностроении токарного инструмента.

На основе предложенной математической модели для каждого компонента, составляющего описание режущего инструмента, разработана методика определения его рациональных параметров.

Выявлено место разработанного программного комплекса в информационном пространстве конструкторско-технологической подготовки производства предприятия (рис. 1). Предложена функциональная схема системы, работающая по модульному принципу.

Разработанный программный комплекс включает четыре основных модуля: ввода первичной информации, подбора возможных видов режущего инструмента, выбора рационального инструмента, а также модуль вывода. Кроме того, в системе присутствуют модули, отвечающие за отображение чертежа и 3D модели детали, база данных инструмента и ее редактор.

Модуль ввода первичной информации автоматизированной системы предназначен для получения необходимой информации для подбора инструмента. При определении инструмента для обработки, производится поиск информации о геометрической форме детали и технологических данных о ней (размерах и допусках, материале, твердости и шероховатости поверхностей и др.). Для этого разработаны модули для получения геометрических данных из файла-чертежа, интерпретации представленной на чертеже информации (размеры и допуски, шероховатости и т.д.), и создания модели детали, содержащей всю необходимую информацию.

В программном комплексе реализовано отображение чертежа и 3D-модели детали, при этом пользователю предоставлен удобный интерфейс для работы с ними. Также для определения инструмента, подходящего для обработки, определяется его главный и вспомогательный углы в плане, группа обрабатываемого материала, стадии обработки, а также система просит пользователя указать заготовку и станок, на котором будет производиться обработка.

Подбор рационального инструмента проводится в две стадии: на первой выбирается инструмент, подходящий для обработки (по главному и вспомогательному углу в плане, группе обрабатываемого материала, и т.д.), а на второй из него в соответствии с критериями, заданными инженером, выбирается рациональный (в модуле выбора рационального инструмента).

Выбор подходящего инструмента состоит из определения системы крепления, формы пластины, исполнения державки (исходя из определенного главного и вспомогательного угла в плане и геометрических данных детали), материала пластины, а также формы стружколома.



Рисунок 1 - Место программного комплекса по выбору режущего инструмента в интегрированной САПР предприятия

Система основана на реализации следующего алгоритма:

1. В CAD системе разрабатывается 3D-модель детали, по ней формируется 2D-чертеж.
2. 3D-модель детали и 2D-чертеж представляются для хранения в формате IGES.
3. Указывается вид и параметры заготовки, выбирается станок (если необходимое оборудование не представлено в БД системы, указываются параметры используемого станка) и жесткость технологической системы.

После ввода всех необходимых данных в системе с учетом критериев рациональности, заданных пользователем, формируется множество вариантов подходящего инструмента для обработки и выбирается из него рациональный инструмент. Полученную информацию можно как распечатать, так и сохранить в XML-файл для загрузки информации об инструменте и режимах резания в САМ-модуль. В рассматриваемой работе использована одна из наиболее распространенных современных САПР Creo Parametric (ранее ProEngineer). При необходимости возможно просмотреть информацию о других допустимых инструментах и режимах резания, которые несколько уступают рациональному варианту. Для этого нужно нажать ссылку «Альтернативные варианты».

При технологической подготовке производства изделий машиностроения одной из важных задач является выбор инструментальной стратегии обработки деталей. Инструментальная стратегия обработки представляет собой наиболее рациональный вариант сочетания выбираемого оборудования, инструмента и рассчитанных режимов резания [4]. При любой стратегии обработки элементарной поверхности возможно использовать как инструмент производства России, так и инструмент иностранных производителей.

Предпосылками проведения исследований в этой области являются:

- значительное распространение и использование многофункциональных станков с ЧПУ;
- увеличение номенклатуры деталей, которые обрабатываются за один установ;
- потребность в сокращении сроков подготовки производства деталей;
- анализ существующих САПР ТП и САМ-систем показал, что в них отсутствует математический аппарат выбора инструментальной стратегий обработки элементарных поверхностей детали [1].

Исходные данные *ID* для выбора стратегии обработки можно описать в виде набора:

$$ID = \langle TU, D \rangle, \quad (1)$$

где: TU – технические условия обработки;

D – параметры детали.

Технические условия TU описываются следующим образом:

$$TU = \langle TO, TI, SE, GTS \rangle, \quad (2)$$

где TO – возможности технологического оборудования;

TI – возможности металлообрабатывающего инструмента;

SE – программа выпуска;

GTS – жесткость технологической системы.

На основе полученных исходных данных возможно вычислить параметры стратегий обработки SO , которые можно описать в виде набора:

$$SO = \langle Tm, Tp, Cii, Ci, Cs \rangle, \quad (3)$$

где Tm – машинное время;

Tp – время смены инструмента;

Cii – затраты на инструмент в перерасчете на одну элементарную поверхность;

Ci – затраты на инструмент;

Cs – стоимость работы станка.

Для выбора инструментальной стратегии механической обработки КТЭ имеет смысл применить математический аппарат решения многокритериальной задачи в условиях определенности, где в качестве критериев определяются: общие затраты на обработку элементарной поверхности (Co) и время на обработку элементарной поверхности при данной стратегии обработки (Ti).

$$Co = \sum_{z=1}^m \left(Cii_z + \frac{Cs_z}{ie} \right) \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$Ti = \sum_{z=1}^m (Tm_z + Tp_z) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где ie – количество КТЭ.

Суммирование ведется по всем элементарным поверхностям.

В результате получим наборы значений критериев SI :

$$SI = \langle Co, Ti \rangle, \quad (6)$$

где SI – множество альтернатив, которыми является сводное множество вариантов инструментальных стратегий обработки КТЭ.

Дальнейшей задачей является ранжирование множества альтернатив $x \in SI$ по определенным критериям. Был выбран наиболее известный метод линейной свертки критериев. Значимость альтернативы $J(x)$ определяется на основе следующей зависимости:

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x); \alpha_i \geq 0; \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \quad (7)$$

где $f_i(x)$ – критерии рассматриваемых стратегий обработки из SI ,

α_i – весовой коэффициент критерия $f_i(x)$;

m – число критериев множества SI .

Применительно к предлагаемому подходу была разработана схема автоматизированной системы, работающая по модульному принципу (рис. 2).

Схема разработанной автоматизированной системы - включает в себя следующие блоки. *Подсистема ввода данных* отвечает за корректный ввод оценок экспертов, взаимосвязей и построение запроса пользователем. В *подсистеме анализа* реализованы математические модели и алгоритмы обработки экспертных оценок. В *подсистеме расчета* и выводов формируются запросы для подсистемы анализа, далее подготавливаются данные для вывода и формируются отчеты для предоставления пользователю.

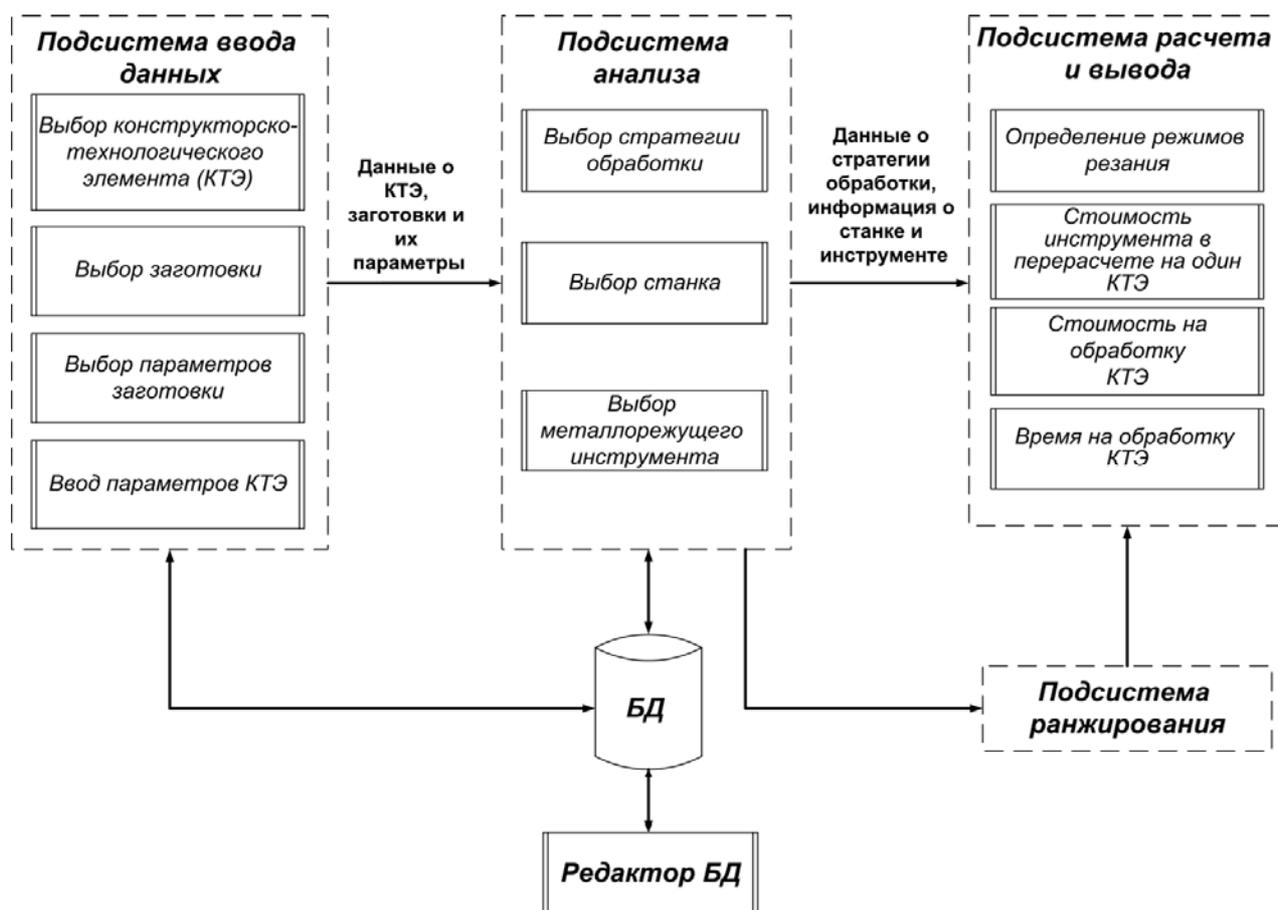


Рисунок 2 - Схема автоматизированной системы определения инструментальных стратегий обработки

На основе разработанной математической модели и алгоритмов предложена методика выбора инструментальной стратегии обработки элементарных поверхностей деталей, состоящая из следующих этапов:

1. Выбор конструкторско-технологического элемента (КТЭ).
2. Определение параметров КТЭ.
3. Выбор вида заготовки и определение ее параметров.
4. Выбор многофункционального технологического оборудования с ЧПУ.
5. Синтез множества возможных инструментальных стратегий обработки.
6. Расчет критериев для каждой инструментальной стратегии из синтезированного множества.
7. Ранжирование множества инструментальных стратегий обработки в соответствии с требованиями, заданными ЛПР.
8. Вывод результатов в БД и на экран.

Результатом работы автоматизированной системы являются рекомендации, содержащие необходимые данные об инструментальной стратегии обработки КТЭ, рекомендуемых инструментах, рекомендуемых режимах резания, а также предварительный расчет времени и стоимости обработки.

Предлагаемый автоматизированный комплекс позволяет организовать и автоматизировать процесс технологической подготовки производства для современного высокотехнологичного оборудования с применением в производственном процессе последних достижений науки и техники. В основе предложенных решений лежит разработанный метод организации АСТПП на основе использования специализированных программных средств и разработки новых моделей, алгоритмов и программных комплексов для комплексной автоматизации процесса ТПП. Метод заключается в автоматизированном

подборе современного высокопроизводительного режущего инструмента, выбора стратегий обработки, как объектов автоматизации с целью снижения производственных затрат и повышения конкурентоспособности выпускаемых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7. Аверченков, В. И. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ [Текст]+[Электронный ресурс] : монография / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, М. В. Терехов, Е. Ю. Кукло. – Брянск : БГТУ, 2010. – 148 с.

8. Аверченков, В. И. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ [Текст] + [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. И. Аверченков, А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек [и др.]. – Брянск : БГТУ, 2010. – Ч. 2 – 213 с.

9. Пономарев, А. С. Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решений [Текст] : учеб. пособие / А. С. Пономарев. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – 230 с.

10. Аверченков, А. В. Автоматизация выбора инструментальной стратегии обработки элементарных поверхностей [Текст] / М. В. Терехов, А. В. Аверченков, А. А. Мартыненко // Вестник БГТУ. – 2011. – № 2 (30). – С. 86-92.

Аверченков Андрей Владимирович
ФГБОУ ВПО Брянский государственный технический университет
Канд. техн. наук, доцент
Тел (4832) 56-49-90
E-mail: mahar@mail.ru

Аверченков Владимир Иванович
ФГБОУ ВПО Брянский государственный технический университет
Д-р техн. наук, профессор
Заслуженный деятель науки РФ
Тел (4832) 56-49-90
E-mail: aver@tu-bryansk.ru

Терехов Максим Владимирович
ФГБОУ ВПО Брянский государственный технический университет
Канд. техн. наук
Тел (4832) 56-49-90
E-mail: malt86@mail.ru

A.V. AVERCHENKOV, V.I. AVERCHENKOV, M.V. TEREKHOV

AUTOMATIZATION OF PROCESSING STRATEGY AND SELECTING CUTTING TOOLS FOR THE MANUFACTURING EQUIPMENT WITH CNC

The problems of automatic selection of cutting tool and processing strategy. We describe the developed software modules to automate the selection of cutting tools with interchangeable nonresharpened plates.

Keywords: tool, cutter, processing strategy, removable plate, Cutting, CAD, automated system, CNC.

BIBLIOGRAPHY

1. Averchenkov, V.I. Automation of selection of cutting tools for CNC machines [Text]+[electronic resource]: monography / V.I. Averchenkov, A.V. Averchenkov, M.V. Terekhov, E.YU. Kuklo. – Bryansk: BSTU, 2010. - 148 pp.

2. Averchenkov, V.I. Automation of preparing control programs for CNC machines [Text]+[electronic resource]: studies. manual for high schools / V.I. Averchenkov, A.A. Zholobov, J.A. Mrotchek [and others]. –Bryansk: BSTU, 2010. - Part 2 - 213.

3. Ponomarev, A.S. Fuzzy sets in problems of automated control and decision-making [Text] studies. manual / A.S. Ponomarev. - Kharkov: NTU "HPI", 2005. - 230 p.

4. Averchenkov, A.V. Automation of tool selection strategies for handling of elementary surfaces [Text] / M.V. Terekhov, A.V. Averchenkov, A.A. Martynenko // Journal of BSTU. - 2011. - № 2 (30). - S. 86-92.

Averchenkov Andrey Vladimirovich
Bryansk State Technical University
Cand. Tech. Sc., Associated Professor
Phone (4832) 56-49-90
E-mail: mahar@mail.ru

Averchenkov Vladimir Ivanovich
Bryansk State Technical University
Dr. Tech. Sc., Associated Professor
Phone (4832) 56-49-90
E-mail: aver@tu-bryansk.ru

Terekhov Maksim Vladimirovich
Bryansk State Technical University
Cand. Tech. Sc.
Phone (4832) 56-49-90
E-mail: malt86@mail.ru

А.Д. КАТУНИН, В.В. МАРКОВ, Д.А. ВЕТЧИННИКОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ И ПОГРЕШНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ

В статье рассмотрены технологические возможности маркировки изделий с применением волоконного твердотельного лазера. Выполнен анализ технологических режимов и погрешностей прецизионной лазерной маркировки. Установлена одна из причин снижения качества лазерного шва – низкая жёсткость системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» технологического оборудования. Рассмотрена проблема лазерной маркировки изделий из пластмасс с тонким металлическим и электропроводным покрытием поверхности.

Ключевые слова: технология прецизионной лазерной маркировки изделий; нанесение надписей и товарных знаков; электрический соединитель; лазерное технологическое оборудование; маркировка изделий; технологическая операция

Актуальность проблемы и цель работы

Лазерные технологии широко используются в машиностроении и приборостроении. Лазерное технологическое оборудование успешно применяется для резки материалов, заточки инструмента, лазерной пайки и сварки, а также для маркировки изделий. Прецизионная лазерная маркировка отличается от других способов нанесения символов высокой производительностью, чёткостью и миниатюрностью изображений, а также их износостойкостью.

Технология лазерной маркировки обладает следующими достоинствами [1]:

- высокая экономическая эффективность и снижение трудоемкости на операции маркировки даже при выпуске изделий малыми партиями;
- снижение трудоемкости контрольных операций при проведении приёмосдаточных и периодических испытаний;
- высокая скорость нанесения надписей и рисунков обеспечивает лучшую пропускную способность оборудования и повышенный коэффициент его использования по сравнению с другими способами маркировки;
- максимально щадящий метод для любых материалов и изделий, отсутствие всевозможных механических воздействий, приводящих к нарушению целостности изделий;
- высококонтрастные надписи обеспечивают превосходное считывание, в том числе и машинное (автоматическое);
- сочетание надёжности, удобства и защищённости информации (надписи невозможно удалить и изменить, прекрасная защита от любых попыток фальсификации);
- высокая устойчивость к воздействию температур, истиранию, щелочам, кислотам, растворителям, другим агрессивным средам, повышенной влажности воздуха и морскому (соляному) туману;
- возможность выполнения надписей достаточно большого объёма на малых площадках корпусов и сохранение необходимых площадей для нанесения дополнительной маркировки соединителей при монтаже в составе аппаратуры потребителей.

Внедрение лазерной маркировки не требует значительных затрат; изделия маркируются на компактной установке, срок окупаемости которой составляет всего 5 месяцев.

Таким образом, лазерная маркировка изделий является наиболее перспективным способом нанесения надписей (по сравнению с маркировкой краской, литём и горячей объёмной штамповкой, электроэрозионной обработкой). *Актуальной проблемой* расширения возможностей лазерной маркировки изделий является анализ её режимов и погрешностей, а также обоснование её применения в условиях, сопряжённых с риском разрушения изделия.

Целью данной работы является анализ качества лазерного шва, режимов и погрешностей лазерной обработки, а также экспериментальное обоснование пригодности лазерной технологии для нанесения надписей на тонкоплёночные покрытия без их повреждения.

Описание системы лазерной маркировки и её программного обеспечения

В России производится несколько видов оборудования для лазерной маркировки. один из видов такого оборудования – система прецизионной лазерной маркировки СПЛМ «МиниМАРКЕР-М10/20» (изготовитель – ООО «Лазерный центр», г. Санкт-Петербург). Система служит для нанесения изображений в контурном и растровом (заполненном) видах на поверхности металлических, пластиковых, резиновых, фольговых и других изделий.

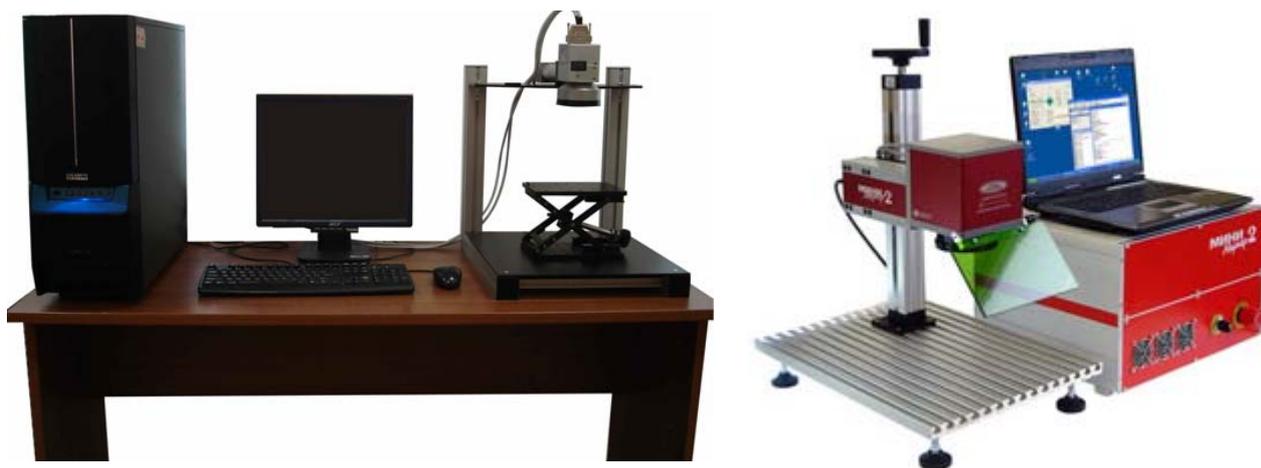


Рисунок 1 – Варианты конструктивного исполнения системы прецизионной лазерной маркировки «МиниМАРКЕР-М10/20»

Основные технические характеристики системы «МиниМАРКЕР-М10/20» (рис. 1):

- 1) поле обработки: 100 x 100 мм;
- 2) скорость перемещения луча, регулируемая: до 2,5 м/с;
- 3) тип видимых изображений: контурные, растровые, текстовые, графические;
- 4) размер наносимых знаков: от 0,25 до 100 мм;
- 5) ширина линии с автоматическим заполнением: от 0,05 до 3 мм;
- 6) маркируемые материалы: металлы и сплавы, покрытия и непокрытые металлические поверхности, резина, пластмассы, фольга;
- 7) тип лазера: импульсный, волоконный;
- 8) максимальная выходная мощность лазера: 10 Вт;
- 9) управление лазером: через персональный компьютер (операционная система Windows 2000, XP, Vista, тип соединительного порта: USB);
- 10) требования к помещению: температура от +15 до +35 °С; относительная влажность воздуха до 80% без конденсата.

Система прецизионной лазерной маркировки «МиниМАРКЕР» включает в себя: блок оптической транспортировки и перемещения луча (БОТиПЛ) с оптоволоконном, являющимся частью излучателя; рабочий стол с кронштейном для закрепления БОТиПЛ возможностью его перемещения по вертикальной оси (OZ); блок питания и управления; управляющий персональный компьютер (от Pentium III/450 MHz, ОЗУ от 256 Мб, монитор от 15", видеокарта от 800x600 точек, интерфейс USB 1.0 или 2.0, ОС «Windows 2000 Professional SP3», «Windows XP SP1 или SP2», «Vista», Internet Explorer 6.0 или выше).

В качестве программного обеспечения системы лазерной маркировки используется программный комплекс «SinMark TM». Основные возможности комплекса «SinMark TM»:

- 1) мониторинг и тестирование оборудования;
- 2) программирование технологических режимов;

- 3) возможность автоматического режима работы лазерного оборудования в составе технологической линии;
- 4) режимы мультипроходной маркировки, исполнение подпрограмм;
- 5) векторный и растровый режимы лазерной маркировки;
- 6) режим маркировки изображений широкой и объёмной линией;
- 7) импорт графической информации из формата BITMAP и PCX, векторной информации в формате HPGL/2 (PLT) и AutoCAD;
- 8) быстрое создание программ для маркировки текстовых и несложных графических изображений, поддержка шрифтов «True Type», библиотека векторных шрифтов;
- 9) автоматическое изменение номера и партии маркируемого изделия;
- 10) маркировка текущего времени и даты;
- 11) генерация штрих-кодов всех основных типов;
- 12) управление дополнительными системами перемещения.

Программный комплекс «SinMark TM» обеспечивает подготовку программ лазерной маркировки, управление лазерной рабочей станцией в процессе работы, запуск тестов.

Технологический маршрут и режимы лазерной маркировки изделий

На ОАО «Карачевский завод «Электродеталь» система прецизионной лазерной маркировки СПЛМ «МиниМАРКЕР-М10/20» используется для нанесения надписей и товарных знаков на основную продукцию предприятия – прямоугольные электрические соединители. Маркировке подвергаются корпуса соединителей, изготовленные из пластмасс и металла, а также пластмассовые корпуса с тонкоплёночным и электропроводным покрытием.

Технологический маршрут прецизионной лазерной маркировки включает в себя следующие операции:

- 1) подготовка рабочего места. Необходимо включить питание управляющего компьютера, включить питание лазерной установки;
- 2) запуск заранее созданной программы для маркировки изделия, содержащей основные технологические режимы маркировки;
- 3) проверка правильности наносимой надписи. Необходимо проверить наличие в надписи всех элементов, указанных в технических условиях;
- 4) установление фокусного расстояния лазерной маркировки. Необходимо расположить изделие на рабочем столе, проверить фокусное расстояние от объектива лазерной установки до поверхности изделия с помощью шаблона;
- 5) оптимизация режимов маркировки. Необходимо оптимизировать режимы маркировки по качеству наносимых знаков;
- 6) нанесение маркировки на поверхность изделия. Необходимо нанести маркировку на поверхность изделия нажатием на педаль или с помощью «мыши» компьютера;
- 7) контроль. Необходимо выполнить визуальный контроль качества маркировки поверхности изделия и положить промаркированное изделие в тару.

Задание технологических режимов маркировки происходит на этапе запуска заранее созданной программы. Управляющая программа должна содержать следующие *режимы*:

- 1) частоту импульсов лазерного излучения: 10 кГц;
- 2) скорость перемещения луча: 50...300 мм/с;
- 3) ширину следа линии лазерного излучения (лазерного шва): 0,05...3 мм;
- 4) мощность лазерного излучения: 20...100 % от максимальной мощности лазерного излучения установки;
- 5) продолжительность прожига надписи: 5...10 с;
- 6) координаты нанесения надписи относительно рабочего стола: задаёт составитель программы путём изготовления рабочего чертежа надписи.

Технологические режимы лазерной маркировки отличаются высокой степенью адаптации к особенностям поверхностей обрабатываемых изделий, возможностью автоматизации, высокими механическими и физико-химическими свойствами надписей. Благодаря этим достоинствам лазерную маркировку можно рекомендовать как предпочтительный метод нанесения надписей на детали сложной конфигурации и с особыми свойствами. Гибкая технология лазерной маркировки позволяет по требованию потребителя вводить в состав маркировки необходимую дополнительную информацию, не включенную в обязательный блок.

Погрешности лазерной маркировки

Актуальной проблемой лазерной маркировки является качество шва. Под качеством шва понимается отсутствие отклонений размера шва в направлении, поперечном ходу лазерного луча. Для оценки качества лазерного маркировочного шва было выполнено исследование знаков маркировки с помощью исследовательского микроскопа AKSTOCKOP2 MAT (оборудование центра коллективного пользования (ЦКП) Госуниверситета-УНПК). Результаты наблюдения надписей в микроскоп показаны на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Внешний вид вилки соединителя СНП342 и увеличенное изображение маркировочной надписи

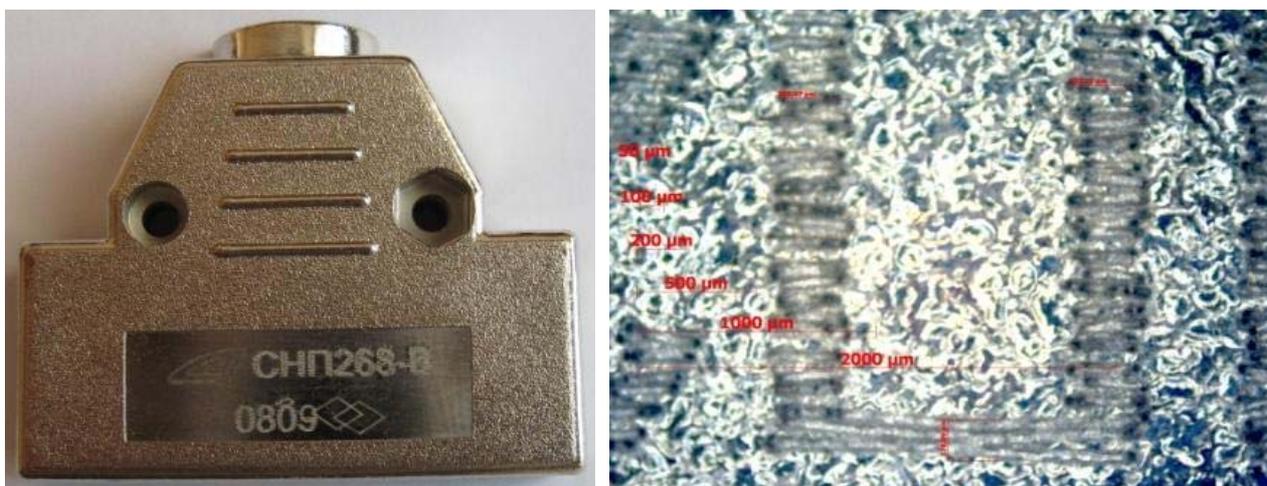


Рисунок 3 – Внешний вид вилки соединителя СНП268 и увеличенное изображение маркировочной надписи

По фотографиям видно, что шов идёт зигзагами, причём неровность лазерного шва проявляется как в продольном (рис. 2), так и в поперечном (рис. 3) направлениях. Воспользовавшись функцией измерения размеров увеличенного изображения, определим шаг колебаний лазерного шва в продольном и поперечном направлениях (рис. 4):

1) в продольном направлении шаг колебаний лазерного шва ($L_{пр}$) составляет (получено по результатам измерения шага неровностей по шкалам микроскопа):

$$L_{пр} = 300 \text{ мкм}; \quad (1)$$

1) в поперечном направлении шаг колебаний лазерного шва ($L_{поп}$) составляет (получено по результатам измерения шага неровностей по шкалам микроскопа):

$$L_{поп} = 120 \text{ мкм}. \quad (2)$$

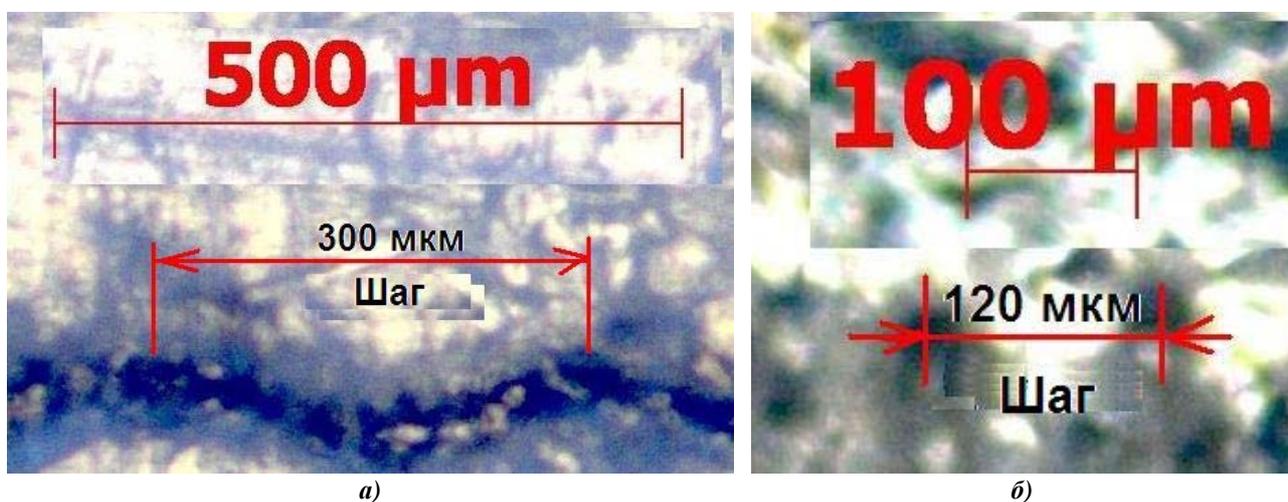


Рисунок 4 – Колебания лазерного шва в продольном (а) и поперечном (б) направлениях (измерения с помощью исследовательского микроскопа AKSTOCKOP2 MAT)

Результаты измерений колебаний лазерного шва показывают, что период колебаний в продольном и поперечном направлениях неодинаковый. Рассмотрим возможные причины неровности лазерного шва.

Зная скорость прожигания надписи ($v \approx 300 \text{ мм/с}$), определим время, за которое лазерный луч совершает колебания в продольном и поперечном направлениях, то есть, период колебаний надписи в продольном ($T_{пр}$) и поперечном ($T_{поп}$) направлениях:

$$T_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{пр}}}{\nu} = \frac{0,3}{300} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad (3)$$

$$T_{\text{поп}} = \frac{L_{\text{поп}}}{\nu} = \frac{0,12}{300} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}. \quad (4)$$

Известно, что частота и период колебаний связаны между собой соотношением:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (5)$$

где f – частота колебаний, Гц;

T – период колебаний, с.

Зная периоды колебаний надписи в продольном ($T_{\text{пр}}$) и поперечном ($T_{\text{поп}}$) направлениях, подсчитаем частоту колебаний и сравним её с частотой колебаний лазерного излучения:

$$f_{\text{пр}} = \frac{1}{T_{\text{пр}}} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$f_{\text{поп}} = \frac{1}{T_{\text{поп}}} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-4}} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Гц}.$$

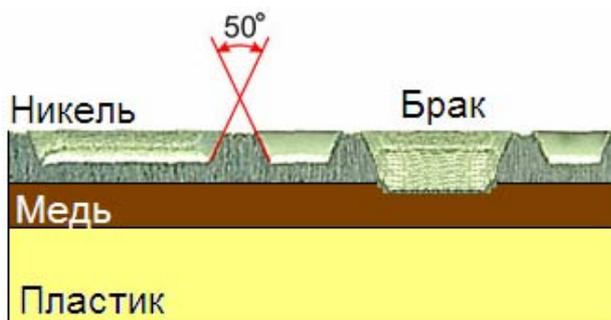
Частота импульсов лазерного излучения составляет $f = 10$ кГц, значит, она может обеспечивать колебания лазерного шва с периодом $T = 0,1$ мс и шаг колебаний $L = 30$ мкм, что в 4 раза меньше шага поперечных колебаний надписи и в 10 раз меньше шага её продольных колебаний. **Следовательно, частота лазерного излучения не может быть причиной выявленных неровностей надписи.**

Можно предположить, что низкая точность шва связана с вибрацией стола приспособления для маркировки. Таким образом, основным условием качества лазерной маркировки является жёсткость системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (системы СПИД) лазерного технологического оборудования.

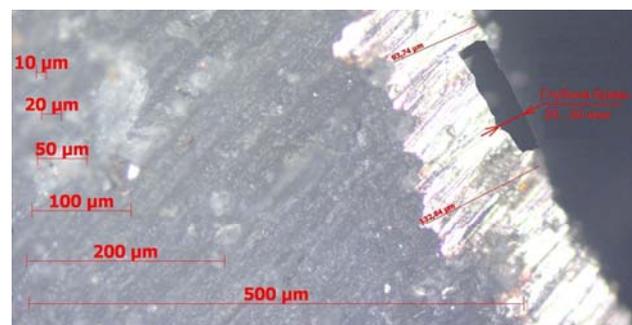
Особенности лазерной маркировки тонкоплёночных покрытий

Одной из актуальных проблем лазерной маркировки является назначение режимов нанесения символов на поверхности миниатюрных деталей с тонкоплёночным покрытием. Примером могут служить корпуса соединителей типа СНП268 (аналогов соединителей международной серии D-Sub), выпускаемых заводом «Электродеталь» (рис. 3).

Конструктивной особенностью данных корпусов является достаточно сложная коробчатая форма, получаемая литьём из термопластичных полимерных материалов и последующим нанесением двухслойного металлического (экранирующего) двухстороннего покрытия. При этом целостность тонкого металлического покрытия, состоящего из слоя меди (30...40 мкм) и слоя никеля блестящего (40...60 мкм), не должна быть нарушена (рис. 5).



а)



б)

Рисунок 5 – Правило нанесения маркировки на тонкое покрытие (а) и его фактическое состояние (наблюдение на исследовательском микроскопе AKSTOCKOP2 MAT)

Допускаются незначительные (точечные) дефекты в труднодоступных местах поверхности, когда при нанесении металлического покрытия химическим способом электролит не проникает в тонкие поднутрения и канавки. Наибольший риск связан с тем, что данные дефекты могут проявиться не сразу, а после определённого времени, при хранении и транспортировании, а также в процессе эксплуатации соединителя в составе радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому выбор оптимальных технологических режимов лазерной маркировки поверхностей с тонкоплёночными металлизированными покрытиями является основным условием обеспечения качества изделия. При выборе указанных режимов необходимо тщательно определять вероятную долю брака в партии изделий, так как маркировка является финишной технологической операцией, и брак на данной стадии технологического процесса изготовления соединителя может значительно увеличить объём бракованной продукции в партии.

Наблюдение среза поверхности маркированного корпуса прямоугольного электрического соединителя типа СПН268 в микроскоп показало, что реальная толщина металлического и электропроводного покрытия находится в пределах от 90 до 150 мкм, а глубина буквы, нанесённой лазерной маркировкой, составляет 20...30 мкм (рис. 5, б). Таким образом, при соблюдении заданных режимов обработки, технология лазерной маркировки обеспечивает, как минимум, двукратный запас по толщине покрытия, и может успешно использоваться для маркировки изделий с тонкими покрытиями поверхностей.

Выводы

1 Лазерное технологическое оборудование для прецизионной маркировки изделий может обеспечивать высокое качество шва надписей, допуская неровности с шагом, не превышающим 30 мкм. Однако выбор недостаточно жёстких приспособлений для взаимного закрепления маркируемых изделий и излучателя, может значительно ухудшить качество лазерного шва. Таким образом, жёсткость системы СПИД является основным условием обеспечения качества надписей при лазерной маркировке изделий.

2 При соблюдении заданных режимов обработки, технология лазерной маркировки обеспечивает, как минимум, двукратный запас по толщине покрытия, и может успешно использоваться для маркировки изделий с тонкими покрытиями поверхностей.

Выполненное исследование проведено по заказу ОАО «Карачевский завод «Электродеталь» – ведущего предприятия России в области производства прямоугольных электрических соединителей для радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники. Результаты исследований переданы в производство и используются для подтверждения способности предприятия выполнять требования заказчиков к качеству соединителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева, Л. И. Внедрение технологии прецизионной лазерной маркировки электрических соединителей на Карачевском заводе «Электродеталь» [Текст] / Л. И. Лебедева // Научный потенциал Орловщины в модернизации промышленного комплекса малых городов России. Сб. тр. региональной науч.-практ. конф. – Ливны, Ливенский филиал ОрёлГТУ, 26 февраля 2010 г. – 2010. – С. 48-51.

Катунин Андрей Дмитриевич

Карачевский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Карачев
Студент факультета «Технология машиностроения»
Телефон (48335)2-00-72;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Марков Владимир Владимирович

Карачевский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Карачев
Заведующий кафедрой «Технология машиностроения», канд. техн. наук, доцент
Телефон (48335)2-00-72;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Ветчинников Дмитрий Александрович

Карачевский филиал ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Карачев
Преподаватель кафедры «Технология машиностроения»,
ОАО «Карачевский завод «Электродеталь», г. Карачев
Начальник инструментального цеха
Телефон (48335)2-00-72;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

A.D. KATUNIN, V.V. MARKOV, D.A. VETCHINNIKOV

**TECHNOLOGICAL REGIMES AND ERRORS OF PRECISION
LASER MARKER THE ARTICLES**

In article are consider the technological possibilities of marker the articles with use a fibro solid-body laser. Is make an analyses the technological regimes and errors of precision laser marker. A one of causes lowering the quality of seam of laser – a low hard of system «machine-device-instrument-detail» for the technological equipment is determining. Is considering the problem of laser marker the articles from plastic, which is cover a thin metal and electro-conductor coating.

Keywords: *technology of precision laser marking of articles; mark the inscriptions and signs of wares; electrical connection; laser technological equipment; the marking of articles; technological operation*

BIBLIOGRAPHY

1. Lebedeva L.I. Application of technology precision laser marking for bonds at Karachev plant “Electrodetail” Text/L.I. Lebedeva//Scientific potential of Orel region in up-dating industrial complex of Russian Towns. Proceedings of Regional Scientific-Practical Conf.-Livny Branch of OrelSTU, February 26, 2010, //Under the general editorship of Yu.S. Stepanov.-Orel:OrelSTU, pp. 48-51, 2010.

Katunin Andrey Dmitrievich

Karachev Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC», Karachev
Student, Faculty of Mechanical Engineering
Phone. (48335) 2-00-72
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Markov Vladimir Vladimirovich

Karachev Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC», Karachev
Can.Sc.tech., Assistant Prof. Chief of the Dep. of Mechanical Engineering
Phone. (48335) 2-00-72
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Vetchinnikov Dmitry Alexandrovich

Karachev Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC», Karachev
Lecturer, Dep. of Mechanical Engineering?
“Karachev Plant-Electrodetail”, Karachev
Toolroom superintendent
Phone. (48335) 2-00-72
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Е.Г. АЛЮШИН, А.В. ВОРОНКОВ, Ю.С. СТЕПАНОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОЙ ВИБРАЦИИ МАТЕРИАЛА ВДОЛЬ ЛИНИИ РЕЗА

Авторами статьи определен путь повышения эффективности гидроабразивного резания за счет вибрации материала вдоль линии реза на основе полученных зависимостей скорости подачи гидроабразивной струи от накладываемой частоты вибрации обрабатываемого материала при различных амплитудах колебания.

Ключевые слова: абразив, гидроабразивное резание, вибрация

Для изготовления плоских деталей из листа широкое применение находят механические методы обработки. Однако при резании по сложному контуру возникают недостатки, связанные с низкой производительностью, сложностью и высокой стоимостью отрезного инструмента (штамповая оснастка), трудностью или невозможностью раскроя.

Одной из ключевых технологий, радикально решающей вопросы производства сложнопрофильных деталей, является резка гидроабразивной струей.

Гидроабразивная струя осуществляет резание посредством ударного воздействия абразивных частиц на обрабатываемый материал, вызывая срез, эрозию, эффект микромеханической обработки и разрушения под действием быстроизменяющегося поля местных напряжений.

Технология гидроабразивного резания идеальна для вырезки материалов, которые являются чувствительными к температуре. После резания не наблюдается упрочнения поверхности реза и прижогов. Применение гидрорезания на предприятиях, связанных с резкой опасных материалов типа асбеста и стекловолоконных материалов, позволяет существенно устранить или полностью исключить выделение вредных паров и пыли. После резания струей не требуется дополнительная механическая обработка. Автоматизация процесса раскроя позволяет экономить отход материала за счет оптимальной раскладки лекал.

Для более твердых материалов, например, металлов, стекла, высокопрочных пластмасс, керамики в струю добавляется абразив.

Можно выделить следующие принципиальные технологические преимущества гидроабразивного резания, определяющие эффективность их использования:

- возможность резания любого материала;
- однородность материала можно не учитывать;
- гидроабразивная струя не оказывает теплового воздействия на поверхность детали;
- достигаемая точность соизмерима с лазерной резкой, притом, что толщина реза больше;
- возможность резать материалы толщиной более 50 мм;
- лучшие условия труда, нет выделений вредных паров;
- более простое обслуживание гидроабразивного оборудования.

Важнейшей характеристикой любого процесса обработки материала является его производительность. Производительность процесса, как правило, выражается скоростью подачи инструмента относительно детали, а также объемом удаленного материала в единицу времени.

Анализ производительности резания материалов при различных методах обработки показал, что гидроабразивное резание обеспечивает скорость резания соизмеримую с наиболее производительными традиционными механическими методами обработки при меньших затратах энергии.

С точки зрения экономической целесообразности применение гидроабразивного резания наиболее эффективно при резке хрупких (стекло, камень) заготовок толщиной 40-100 мм, композиционных материалов во всем диапазоне допустимых толщин, стали при толщине листа свыше 6 - 10 мм, меди - свыше 2-3 мм, алюминиевых сплавов - свыше 5-6 мм [1].

Большинство авторов исследований получили более или менее обоснованные рекомендации по выбору технологических параметров управления для конкретных условий [2]. С одной стороны, такой подход позволяет исследовать проблемы выбора оптимальных условий обработки как часть общей задачи управления технологической системой, с другой – ограничивает полученные результаты рамками конкретной содержательной интерпретации. Кроме того, в подавляющем большинстве моделей не учитывается множественное подчинение элементов технологической системы.

Для повышения эффективности обработки большинство исследователей ограничиваются базовой двухуровневой организационной системой, состоящей на верхнем уровне из управляющего центра и активных элементов на нижнем уровне. Одним из объяснений концентрации внимания исследователей на двухуровневых иерархических системах является возможность декомпозиции структуры на набор элементарных «блоков». В этом случае решение задачи анализа заключается во введении критерия эффективности, являющейся мерой степени достижения цели обработки. Например, критерием эффективности функционирования технологической системы может быть производительность или качество гидроабразивного резания [3].

Многочисленные исследования производительности гидроабразивного резания различных материалов показывают, что с увеличением давления истечения струи максимум силы воздействия потока на материал увеличивается по зависимости, близкой к прямолинейной. На эффективность резания большое влияние оказывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, которые выражены совокупностью ряда прочностных характеристик [4].

Для выявления качественных и количественных эффектов между управляющим центром и активными элементами проведем декомпозицию и рассмотрим одноэлементную двухуровневую систему, состоящую из одного центра и одного активного элемента (АЭ) технологической системы – сверхзвуковой струи жидкости, структура которой представлена на рисунке 1.

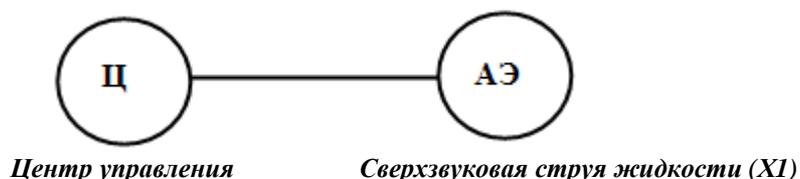


Рисунок 1 - Структура двухуровневой одноэлементной технологической системы гидроабразивного резания

Так как сила воздействия струи на материал прямо пропорциональна квадрату скорости истечения струи, для активного элемента (АЭ) технологической системы X_1 выбирается эффективное значение скорости истечения v_i . При этом АЭ получает от технологической системы необходимый скоростной напор $p_i(v_i)$ и несет затраты $c_i(v_i)$ на резание материала.

Таким образом, целевая функция АЭ «сверхзвуковая струя жидкости» имеет вид:

$$f(v) = p(v) - c(v). \quad (1)$$

Содержательно в рамках этой модели (1) технологическая система гидроабразивного резания должна, как минимум, компенсировать энергетические затраты АЭ, например, подаваемая энергия должна быть равна затратам на резание. При этом, во-первых, если скорость истечения струи v такова, что сила резания больше создаваемой силы воздействия потока на материал, то сквозное резание при заданной производительности невозможно и,

во-вторых, создавая давление истечения, равное затратам на резание, мы получаем возможность найти наилучшее для технологической системы реализуемое действие.

При заданном давлении истечения p технологическая система гидроабразивного резания получает от деятельности АЭ требуемую производительность, выраженную через удельный унос материала $\dot{I}(v)$, определяемый скоростью истечения струи v , при этом надо учитывать, что для создания необходимой скорости истечения технологическая система несет определенные энергетические затраты $\sigma(v)$.

Откуда целевая функция технологической системы гидроабразивного резания:

$$\hat{O}(v) = \dot{I}(v) - \sigma(v). \quad (2)$$

В рамках такой интерпретации под эффективностью работы технологической системы понимается максимальное значение целевой функции:

$$K_0(C) = \max_{v \in P(\tilde{N})} [H(v) - c(v)], \quad (3)$$

где $P(C)$ – множество состояний активного элемента «сверхзвуковая струя жидкости»:

$$D(\tilde{N}) = \left\{ v \in A \mid c(v) - \min c(v) \leq C \right\}. \quad (4)$$

Проведенный анализ функциональных структур процесса гидроабразивного резания показывает, что управляющим центром группы элементов, реализующим основную функцию технологической системы, является сопло, которое взаимодействует со всеми элементами системы и формирует режущий инструмент – гидроабразивную струю.

Характер изменения гидродинамических параметров струи по длине (длина начального участка, диаметр ядра, угол раскрытия, скорость абразива или жидкости и др.) находится в прямой зависимости от параметров сопла.

К основным характеристикам сопла, которые можно использовать для управления процессом гидроабразивного резания, относятся [3]:

- конструктивные параметры (способ смешивания жидкости и абразива, конструктивное исполнение составных частей сопла и др.);
- геометрические параметры (диаметр сопла, длина фокусирующей трубки, внутренняя геометрия струеформирующих отверстий и др.);
- динамические свойства (приведенная масса и др.);
- гидродинамические свойства (расход жидкости и абразива, коэффициент потерь, коэффициент поджатия потока и др.);
- пространственная ориентация сопла.

В иерархическую структуру управления технологической системы гидроабразивного резания промежуточный центр – Π_1 – «струеформирующее сопло», целевая функция которого равна:

$$\hat{O}_1(v) = \dot{I}_1(v) + \sigma_1(v) - \sigma(v), \quad (5)$$

где $\dot{I}_1(v)$ – эффективность преобразования соплом потенциальной энергии потока жидкости p в кинетическую;

$\sigma_1(v)$ – затраты со стороны технологической системы на создание необходимого скоростного потока жидкости в подводящих к соплу каналах.

Целевая функция центра технологической системы при этом становится:

$$\hat{O}(v) = \dot{I}(v) - \sigma_1(v). \quad (6)$$

При этом целевая функция активного элемента «сверхзвуковая струя жидкости» остается неизменной.

В результате технологическую систему гидроабразивного резания можно представить как трехуровневую одноэлементную систему (рис. 2).

Множество действий, реализуемых в трехуровневой структуре управления технологической системой определяется по следующей зависимости:

$$R(\delta) = \left\{ v \in A \mid c(v) - \min c(v) - H_1(v) \leq \tilde{n} \right\}. \quad (7)$$

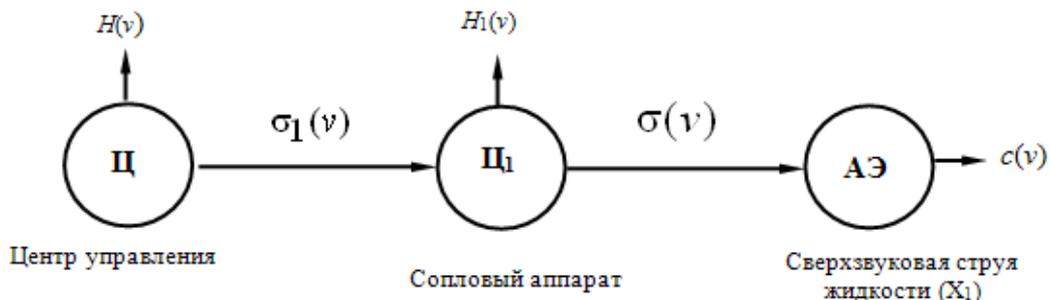


Рисунок 2 - Структура трехуровневой одноэлементной технологической системы гидроабразивного резания

Повысить эффективность можно и конструктивной модернизацией технологической системы гидроабразивного резания, путем введения добавок в рабочую жидкость $c(v_1)$, выбора конструкции опорного стола для материала $c(v_2)$ и уловителя отработанной жидкости $c(v_3)$, различных воздействий на режущую струю $c(v_4)$ и обрабатываемый материал, например, с наложением вибраций вдоль линии реза $c(v_5)$.

Попытки использования энергии вибрационного воздействия для интенсификации процессов механической обработки известны еще с конца 30х годов XX века. Характерной особенностью современного состояния физики и техники вибрации является многообразие её применения, охватывающее широкий частотный диапазон, с использованием модуляции колебаний по амплитуде, частоте и фазе.

Тенденция стремления к более прогрессивным методам механической обработки становится актуальнее из года в год. Исследуя процесс гидроабразивного резания, возникла гипотеза о повышении производительности и увеличении качества реза путём наложения направленного вибрационного воздействия вдоль линии реза. Вибрационное воздействие вдоль линии реза должно существенно усилить режущие свойства струи, так как возникнет микроимпульсность абразивного врезания, а, следовательно, и зонность теоретически аппроксимированного профиля следа струи в материале. Таким образом, будет формироваться микроступенчатость врезания гидроабразивной струи в материал, что позволит сохранить исходно высокий импульс врезания в момент разряжения вибрационного воздействия между жидкостно-абразивной струей и материалом. Характер и интенсивность вибрации является определяющим фактором при данном воздействии.

Произведем теоретико-аналитический расчет параметров направленного вибрационного воздействия на разрезаемый материал, который необходим для определения параметров вибрационного стола и его конструктивных особенностей.

На рисунке 3 приведены результаты расчета эффективной частоты направленной вибрации при варьировании амплитуды колебаний.

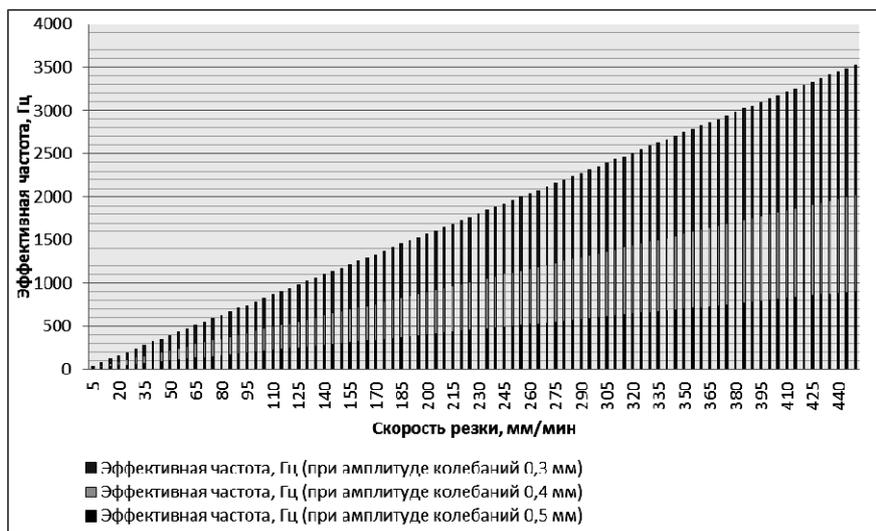


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости скорости подачи гидроабразивной струи от накладываемой частоты направленной вибрации материала при различных амплитудах колебания

Результаты расчётов позволяют сделать вывод о том, что эффективная частота вибрационного воздействия на разрезаемый материал гидроабразивной струей находится в килогерцовом диапазоне возможных частот вибрации. Установлено, что чем больше скорость гидроабразивной струи в разрезаемом материале, тем меньшей должна быть амплитуда накладываемой вибрации, и тем большей должна быть частота вибрационного воздействия. Полученные результаты необходимо учитывать при проектировании вибропривода и вибростола для гидроабразивного резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков, Г. В. Технологическое обеспечение шероховатости, точности формы и расположения поверхностей детали после гидроабразивного резания [Текст] / Г. В. Барсуков // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – № 9. – С. 22-26.
2. Степанов, Ю. С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости [Текст] / Ю. С. Степанов, Г. В. Барсуков // СТИН. – 2003. – № 10. – С. 15-17.
3. Степанов, Ю. С. Моделирование разрушения многослойной преграды с газовым зазором под действием сверхзвукового струйного потока свободных абразивных частиц [Текст] / Ю. С. Степанов, Г. В. Барсуков, А. В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 4-2. – С. 65-70.
4. Барсуков, Г. В. Моделирование числа абразивных зерен, участвующих в процессе формирования поверхности детали при резании сверхзвуковой гидроабразивной струей [Текст] / Г. В. Барсуков, Ю. С. Степанов, А. В. Михеев // Вестник БГТУ. – 2009. – С. 15-19.

Алюшин Евгений Геннадьевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант кафедры ТМиКТИ
Тел. (4862) 419818
E-mail: upk@ostu.ru

Воронков Александр Викторович

Преподаватель кафедры «Электротехнические дисциплины»
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: (4862) 54-14-19
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

Степанов Юрий Сергеевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Д-р техн. наук, проф., директор НОЦ «Орелнано»
Тел. (4862) 419818
E-mail: stepanov@ostu.ru

ALYUSHIN E.G., VORONKOV A.V., STEPANOV YU.V.

EFFECTIVENESS INCREASE OF HYDRO-ABRASIVE CUTTING BY MATERIAL DIRECTED VIBRATION ALONG CUTTING LINE

The authors determined to improve the efficiency Waterjet Cutting through the vibration of the material along the cutting line on the basis of the dependence of flow rate on the waterjet stream overlay the frequency of vibration of the material at different amplitudes of oscillation.

Keywords: *abrasive, abrasive waterjet, vibration*

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov G.V. Technological Support of Roughness, Form Accuracy and Location of Part Surface after Hydro-abrasive Cutting [Text] / G.V. Barsukov // Reference Book. Engineering Journal. №9, pp. 22-26, 2005.
2. Stepanov Yu.S. Quality Formation of Parts Surface Layer at Supersonic Stream Cutting [Text]/S.Yu. Stepanov, G.V. Barsukov//STIN.-№10, pp. 15-17, 2003.
3. Stepanov Yu.S. Modeling destruction of multi-layer barrier with gas gap under effect of free abrasive particles jet [Text]/ Yu.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Mikheyev // Fundamental and Applied Problems of Technique and Technology. №4-2, pp. 65-70, 2010.
4. Barsukov G.V. Modeling Number of Abrasive Grains Participating in Process of Part Surface Formation at Jet Cutting [Text] / G.V. Barsukov, Yu.S. Stepanov, A.V. Mikheyev// Bulletin of BSTU, pp. 15-19, 2009.

Alyushin Yevgeny Gennadievich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Post graduate student
Dep. of Mechanical Engineering and Design-Technological Informatics
Phone. (4862) 419818
E-mail: upk@ostu.ru

Voronkov Aleksandr Viktorovich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Lecturer of dep. “Electrotechnical branch”
Phone: (4862) 54-14-51
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

Stepanov Yury Sergeyeovich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Dr.Sc.tech, Prof., Director of SEC “Orelnano”
Phone. (4862) 419818
E-mail: stepanov@ostu.ru

Н.Ю. ЛАКАЛИНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОЧНЫХ ГЛУХИХ РЕЗЬБ С КРУПНЫМИ ШАГАМИ ОДИНАРНЫМИ МЕТЧИКАМИ С ВИНТОВЫМИ СТРУЖЕЧНЫМИ КАНАВКАМИ

Проанализированы существующие методы обработки точных глухих резьб с крупным шагом, выявлены их недостатки. Для устранения этих недостатков возникла потребность в новом прогрессивном инструменте. Было проведено исследование, результатом которого явилась разработка, изготовление и внедрение специальных одинарных метчиков с винтовой стружечной канавкой для нарезания точных резьб в глубоких глухих отверстиях.

Ключевые слова: режущий инструмент, обработка отверстий, метчик, резьба, точность, шероховатость, повышение эффективности.

Нарезание точных внутренних метрических резьб с крупным шагом достаточно трудоемкий процесс, т.к. производится комплектом метчиков из 3-х штук. К точным резьбам предъявляются высокие требования по точности и шероховатости. Получение таких резьб представляет значительные трудности. Проблема усложняется при обработке резьб с требованиями по ориентации оси среднего диаметра резьбы относительно привалочной плоскости. Кроме того, шероховатость резьбы, нарезаемой метчиками стандартной конструкции (с исполнительными размерами по ГОСТ16925-71), достаточно высокая, а точность резьбы, получаемой стандартными метчиками, не соответствовала классам точности 5Н, 6Н.

На ЗАО УК «БМЗ» (Брянский машиностроительный завод) при обработке ответственных резьб деталей судовых малооборотных дизелей, особенно новых модификаций, эти вопросы встали достаточно остро и заставили инженерные службы внимательно заняться решением этих вопросов с подключением ученых кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» УНТИ БГТУ (Учебно-научный технологический институт Брянского государственного технического университета).

Особенно остро встал вопрос получения качественных резьб М48-5Н,6Н и М52-5Н,6Н на основной детали судового дизеля – раме. Эти резьбы были в глухих отверстиях глубиной 228 мм с длиной нарезанной части 90 мм. Резьба М48×5, например, имеет допуск 4Н5Н и шероховатость поверхности Ra3,2 мкм. Ответственность данной резьбы выражается в шероховатости профиля резьбы Ra3,2 и допуске перпендикулярности среднего диаметра резьбы относительно привалочной плоскости фундаментной рамы. Поэтому данная резьба обрабатывается по кондуктору удлинненными метчиками с задним направлением по специальной кондукторной втулке кондуктора. Используется комплект из 3-х метчиков со стандартными режущей и калибрующей частями. Такой метод обработки имеет ряд существенных недостатков:

- большая трудоемкость при нарезании резьб в глубоких глухих отверстиях;
- низкая точность нарезаемой резьбы, связанная с большой разбивкой среднего диаметра резьбы;
- большая шероховатость поверхности получаемой резьбы;
- проблемы с очисткой глубоких отверстий от остающейся там стружки;

Были опробованы различные конструкции метчиков, в т.ч. метчиков с бочкообразным зубом. Для получения точных резьбовых отверстий были разработаны чистовые метчики с разбивкой допуска среднего диаметра на 6 частей (от наибольшего среднего диаметра до наименьшего через определенный промежуток). Данные чистовые метчики позволяли на образце из того же материала, что и детали, на том же оборудовании и с теми же режимами обработки нарезать несколько резьбовых отверстий, а затем по предельным резьбовым калибрам определить, какой метчик нарезал резьбу необходимой точности и нарезать резьбу на детали данным метчиком (метод последовательных приближений - применялся в США). Несмотря на положительные результаты по точности, данный процесс был очень трудоемким, т.к. не отменял нарезание резьбы комплектом

метчиков. Кроме того тратилось время на экспериментальные работы. Применение метчиков с бочкообразным зубом позволило получить положительные результаты по точности резьбы, но шероховатость резьбы была низкой, т.к. при выворачивании метчика мелкая стружка попадала в зазор между затылком пера калибрующей части и профилем резьбы и царапала резьбу.

Еще одной проблемой при нарезании резьбы комплектом метчиков является очистка отверстия после нарезания резьбы каждым из метчиков комплекта из 3-х штук, что было достаточно трудоемко. Очистка производилась сжатым воздухом под давлением 6 атмосфер, иначе стружка с СОЖ не убиралась из глубины резьбы 228 мм плюс толщина кондуктора 100 мм при снятой кондукторной втулке.

Вышеназванные инструменты и методы обработки не позволяют получить требуемые стабильные параметры шероховатости поверхности получаемых резьб и точности нарезаемой резьбы. Поэтому, для устранения вышеназванных недостатков, возникла необходимость в новом прогрессивном инструменте.

Таким образом, задачи, которые предстояло решить, были следующие:

- обеспечить точность внутренней резьбы с крупным шагом 5Н, 6Н в глухих отверстиях;
- получить шероховатость профиля резьбы не более $Ra=3,3$ мкм;
- снизить трудоемкость нарезания резьбы с крупным шагом в глухих отверстиях;
- добиться по возможности максимального вывода стружки из резьбового отверстия самим режущим инструментом;
- обеспечить допуск перпендикулярности оси резьбы.

Был проведен анализ различных существующих конструкций метчиков [1, 4], в том числе и зарубежных фирм («DC» Швейцария, «Sandvik Coromant» Швеция, «Iskar» Израиль), который показал, что наиболее перспективным принципиальным решением является метчик с винтовыми стружечными канавками. Его мы приняли за прототип. Хотя такие метчики известны и выпускаются, параметры их не стандартизованы. Поэтому важной задачей является обеспечение оптимальных характеристик таких метчиков. В результате исследований была разработана новая прогрессивная конструкция метчика, которая позволила устранить вышеназванные недостатки и решить задачи повышения качества и производительности при нарезании резьб в глубоких глухих отверстиях.

Предлагаемый объект (специальный одинарный метчик с винтовыми стружечными канавками) позволяет уменьшить количество метчиков в комплекте с трех до одного, выводить стружку из нарезаемого отверстия, повысить точность нарезаемых резьб, снизить шероховатость поверхности нарезаемой резьбы, а также снизить трудоемкость изготовления метчиков с крупным шагом. Получаемый эффект достигается за счет особенностей конструкции метчика.

Для пояснения описываемого объекта приводится рисунок 1. На рисунке 1 (а) изображен метчик, общий вид, на рисунке 1 (б) – сечение А-А, на рисунке 1 (в) – заборная часть метчика в отверстии детали.

Метчик содержит заборную (режущую) часть 1, калибрующую (направляющую) часть 2, хвостовик 3 и стружечные канавки 4.

Метчик изготавливается одинарным. Длина режущей части постоянна и равна трем шагам. Длина калибрующей части постоянна и равна шести шагам.

Калибрующая часть не затылуется ни по профилю резьбы, ни по наружному диаметру, что позволяет уменьшить трудоемкость изготовления и контроля резьбовой части метчика, а при переточках метчика сохранять параметры резьбы неизменными.

Перо метчика имеет равные передние углы по передней радиусной поверхности и обратной задней кромке пера, что позволяет при выворачивании метчика удалять мелкую стружку, и она не попадает на профиль резьбы метчика и не повреждает профиль нарезаемой резьбы.

В результате проведенной работы был получен патент на изобретение [5].

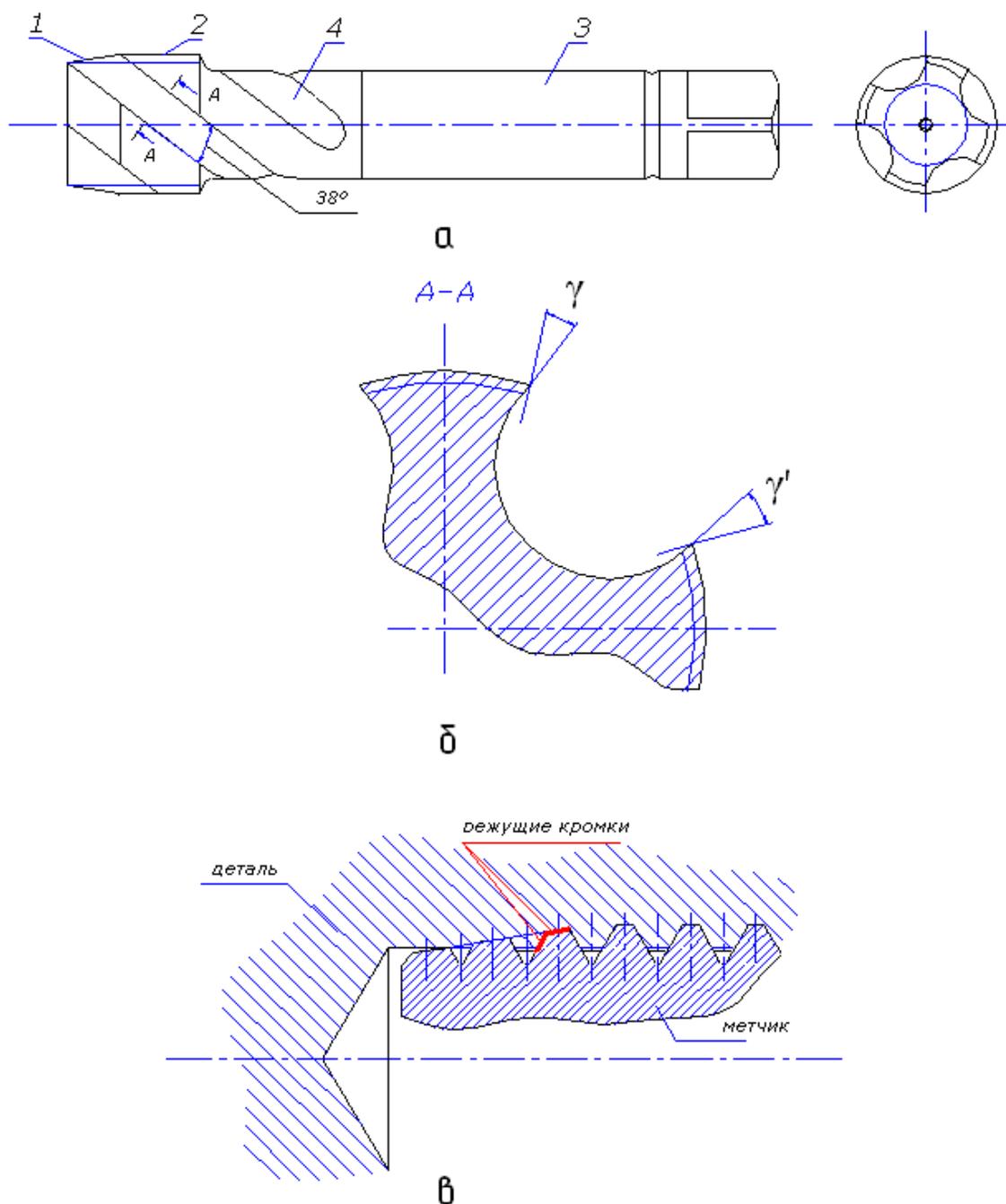


Рисунок 1 – Метчик:

а – общий вид; б – сечение А-А; в - заборная часть метчика в отверстии детали

Для обеспечения точности внутренней резьбы необходимо, чтобы исполнительные размеры среднего диаметра резьбы рассчитывались от нижней трети допуска на средний диаметр, и принимать $-0,030$ мм. Необходимо обеспечить допуск биения режущей части метчика относительно среднего диаметра метчика и допуск биения диаметра направляющего хвостовика относительно среднего диаметра метчика $0,02$ мм. Также необходимо не затыловывать калибрующую часть метчика и сделать ее не более 6 ниток. Режущую часть метчика необходимо изготовить длиной 3 нитки. Кроме того, необходимо обеспечить соосность отверстия под резьбу и оси метчика путем применения кондуктора. Калибрующая часть метчика не должна снимать стружку, а должна являться только направляющей частью инструмента, поэтому было решено калибрующую часть не затыловывать по профилю и наружному диаметру и ограничить ее длину 5-6 нитками. Режущую часть решено сделать равной 3 ниткам - номинальному по стандарту сбегу резьбы.

Был изготовлен опытный метчик с винтовой стружечной канавкой и передним углом 10° . Опытные работы показали, что при нарезании резьбы в стали 20, 20Г, 30Г образуется

сливная винтовая стружка с небольшим угловым профилем, что говорит о том, что резание происходит не только конической затылованной поверхностью режущей части, но и передней кромкой боковой поверхности резьбы. Спиральная стружка хорошо размещалась в канавках метчика и выводилась из отверстия вместе с выворачиванием метчика. Вместе с тем, микрочастицы, отрывающиеся от винтовой стружки, попадали на профиль нарезанной резьбы и при выворачивании метчика царапали поверхность и ухудшали шероховатость нарезанной резьбы. Поэтому было решено образовать положительный задний угол на задней кромке пера метчика, равный 10° , при котором удалялись мелкие частицы стружки при выворачивании метчика. Опытные работы, проведенные в лаборатории кафедры «МСИИ» УНТИ БГТУ показали, что оптимальным углом наклона винтовой канавки метчика является угол 38° , при котором спиральная стружка минимально деформируется и не ломается при размещении в канавках, а выводится вместе с инструментом. Количество перьев метчика для всех размеров принято равным четырем. В настоящее время изготовлены и внедрены метчики М33×3,5, М39×3,5, М42×4, М48×5, М52×5, М56×5,5, М64×6.



Рисунок 2 - Специальный одинарный метчик с винтовыми стружечными канавками

Винтовая стружечная канавка, решила ряд проблем. Исследования, проведенные в лаборатории кафедры «МСИИ» УНТИ БГТУ на измерительном комплексе на базе ЭВМ показали уменьшение суммарного момента резания при нарезании резьбы разработанным метчиком по сравнению с нормализованным примерно в два раза. Любое уменьшение суммарного момента резания ведет к уменьшению тангенциальных и радиальных составляющих сил резания, которые вызывают этот момент, и, следовательно, снижает отрицательное действие этих сил на разбивание резьбы, и положительно сказывается на точности и качестве резьбовых отверстий [2, 3]. Значительный угол наклона винтовой стружечной канавки позволяет свободно выходить завивающейся спиральной стружке из глубоких глухих отверстий. Кроме того, срезание стружки происходит не только конической затылованной заборной режущей частью, но и боковыми сторонами профиля резьбы за счет винтовых винтовых стружечных канавок метчика, положительного переднего угла, что снижает крутящий момент при нарезании резьбы. Это позволяет использовать при нарезании резьбы с крупным шагом вместо комплекта метчиков одинарный метчик.

Стружечные полузакрытые канавки метчиков получены опытным путем и зависят от наружного диаметра радиусных дисковых фрез.

Перо метчика имеет равные передние углы по передней радиусной поверхности и обратной задней кромке пера, что позволяет при выворачивании метчика удалять мелкую стружку, и она не попадает на профиль резьбы метчика и не повреждает профиль нарезаемой резьбы.

В ходе исследований, проведенных в условиях ЗАО УК БМЗ, было установлено, что конструкция и исполнительные размеры прогрессивного метчика позволяют стабильно

нарезать резьбовые отверстия качества точности 4Н5Н, 5Н, а также не разбиваются первые нитки резьбы, которые обычно подрезаются при нарезании резьбы метчиком стандартной конструкции. При этом трудоемкость снизилась почти в 3 раза.

Шероховатость профиля резьбы метчика $Rz=0,8$ мкм, передней грани и задней грани пера метчика – $Rz=0,8$ мкм на высоте на 1-2 мм больше высоты профиля резьбы метчика.

Качество резьбы, получаемое разработанными метчиками, одобрено и принято инспекциями морского русского регистра, международными морскими регистрами «Ллойд» (Lloyd's Register of Shipping) и «Веритас».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудов, А. А. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент [Текст] / А. А. Грудов. – М.: НИИМАШ, 1980. – 64 с.
2. Лексиков, В. П. Технологическое повышение качества и производительности обработки внутренних резьб с крупным шагом ($P \geq 3$) [Текст] / В. П. Лексиков : Дис. ... канд. техн. наук – Брянск, 1998. – 191 с.
3. Матвеев, В. В. Нарезание точных резьб [Текст] / В. В. Матвеев. - М. : Машиностроение, 1978. – 88 с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов [Текст] : справочник / Под ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
5. Пат. 2380204 РФ, МПК7 В 23 G 5/06. Метчик [Текст] / Н. Ю. Лакалина, Ю. Н. Немешаев, Ю. А. Малахов; заявитель и патентообладатель Брянский гос. техн.ин-т. - № 2008127581/02; заявл. 07.07.2008; опубл. 27.01.2010. Бюл. №23. – 4 с. : ил.

Лакалина Нина Юрьевна

ФГБОУ ВПО Брянский государственный технический университет
Аспирантка
Тел: (4832) 588-289
E-mail: uhastyi@mail.ru

N.Y. LAKALINA

IMPROVING THE EFFICIENCY OF EXACT TREATMENT OF THE DEAF THREAD WITH LARGE STEPS SINGLE TAP WITH SCREW FLUTES

Analyzed the existing methods of processing threads with the exact Deaf big step, identifies their shortcomings. To address these shortcomings, there was a need for a new progressive tool. A study was conducted, which resulted in the development, production and introduction of special single-tap screw flutes for cutting accurate threads in deep blind holes

Keywords: cutting tools, machining holes, taps, thread, accuracy, surface roughness, increasing efficiency.

BIBLIOGRAPHY

1. Grudov, A.A. High-threading tools / A.A. Grudov. - M.: NIIMASH, 1980. – 64p.
2. Leksikov, V.P. Technological improvement of the quality and processing performance of internal threads with a large pitch ($P \geq 3$): Thesis Candidate of Technical Science / Leksikov Vyacheslav Pavlovich. - Bryansk, 1998. – 191p.
3. Matveev, V.V. Screw the exact thread / V.V. Matveev. - M.: Mashinostroenie, 1978. – 88p.
4. Progressive cutting tools and cutting of metals: a handbook / ed. V.I. Baranchikov - Moscow: Mashinostroenie, 1990. – 400p.
5. Pat. 2380204 Russian Federation, МПК7 В 23 G 5/06. Tap / Lakalina N.Y., Nemshaev Y.N., Malakhov, Y. A. applicant and patentee Bryansk State Technical University - № 2008127581/02; appl. 07/07/2008, publ. 27.01.2010. Bulletin № 23. - 4 p. ill.

Lakalina Nina Yurievna

FSBEI HVT «Bryansk State University», Bryansk
Post graduate student
Phone (4832) 588-289
E-mail: uhastyi@mail.ru

О.А. МАКАЛОВА, П.С. РУБИН

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЕС С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

В статье рассмотрен вопрос о выборе инструментальной и станочной базы для обработки цилиндрических колес с арочными зубьями резцовыми головками с нулевым углом профиля режущей кромки.

Ключевые слова: арочный зуб, цилиндрическая передача, резцовая головка, схема резания.

Арочное зубчатое колесо характеризуется круговым исполнением формы линии зуба с эвольвентным профилем. Основными достоинствами цилиндрических зубчатых колес с арочными зубьями является повышенная нагрузочная способность и долговечность, плавность хода, терпимость к колебаниям межосевых расстояний и перекосам осей, а также малый уровень шума, который обеспечивается равенством углов зацепления вдоль зуба обоих колес пары. Главным недостатком широкого внедрения и использования арочных колес - отсутствие технологии, позволяющей изготавливать эти передачи с достаточной точностью при высокой производительности.

Арочное зацепление имеет особое значение для тяжелонагруженных машин, используемых в непрерывных производствах (металлургическом, угольном, нефтегазовом и др).

В настоящее время известны несколько способов нарезания цилиндрических колес с арочными зубьями методом обката:

С непрерывным делением: по окончании определенной операции заготовка возвращается в исходное положение, и после деление на один зуб цикл обработки повторяется.

1) по способу аналогичному фирмы Oerlikon для нарезания конических ЗК с циклоидальной линией зуба

2) спирально-дискковой фрезой

Зубчатые колеса, нарезанные указанными способами будут иметь постоянный эвольвентный профиль в сечениях, перпендикулярных к зубу. А в сечениях, перпендикулярных оси колеса, иметь угол зацепления будет переменным. Наибольший по величине угол будет только в центральном сечении нарезаемого колеса, а в сечениях ближе к торцу меньшим. В этом случае возникают осевые нагрузки и неравномерность нагружения арочных колес по длине, что приводит к повышенному износу и быстрому выходу из строя передачи.

Геометрически точная обработка арочных зубьев осуществляется с использованием таких инструментов, как концевые фрезы и резцовые головки.

При формообразовании концевыми фрезами (рис. 1) осуществляется последовательное извлечение металла из впадины и формирование рабочей поверхности происходит за несколько проходов посредством интерполяции по эвольвенте. Данный способ позволяет обеспечить формирование эвольвентного профиля по всей длине арочного зуба. Однако он является малоэффективным в связи с малой производительностью и интенсивным износом режущего инструмента.

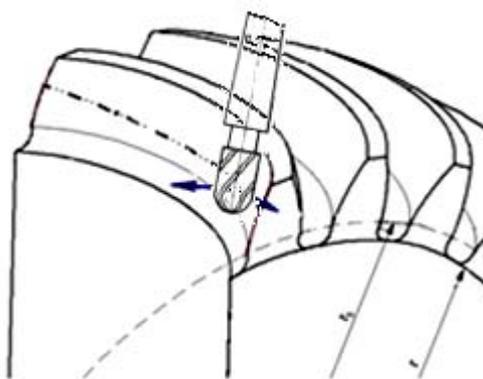


Рисунок 1 – Обработка колес с арочными зубьями концевой фрезой

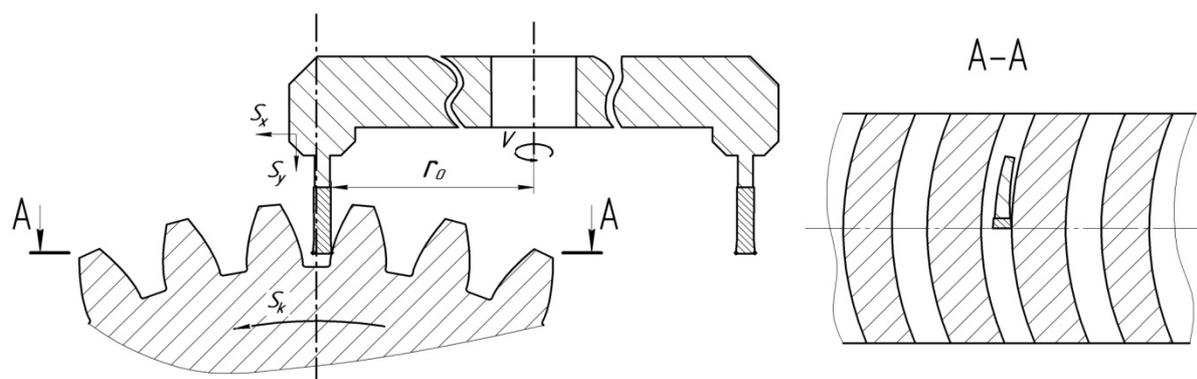


Рисунок 2 – Формирование арочных цилиндрических колес резцовой головкой

Наиболее совершенным способом является нарезание арочных зубчатых колес при помощи трех последовательно сменяемых резцовых головок (РГ), оснащенных твердосплавными пластинами. Сначала прорезается впадина, затем следующая головка формирует выпуклую сторону зуба и в завершении третья РГ нарезает вогнутую сторону зуба (рис. 2). Причем такое разделение необходимо для того, чтобы формообразующая точка инструмента в обоих случаях вращалась вокруг оси резцовой головки с одним и тем же радиусом r_0 . При таком способе обеспечивается получение эвольвентных арочных зубьев с постоянной шириной зуба по делительному диаметру в осевом сечении по всей длине.

При проектировании технологического процесса очень важным моментом является выбор конструкции режущего инструмента и оборудования при нарезании зубчатых колес с арочными зубьями в диапазоне наиболее употребительных модулей $m=3...12$ и шириной зубчатого венца до $b=200$ мм. Станки должны отвечать таким требованиям как высокая производительность и качество изготавливаемых на них деталей, а также обеспечивать повышенную жесткость и виброустойчивость.

Резцовые головки представляют собой диски с пазами, в которые устанавливаются токарные канавочные резцы. Такие резцы изготавливают централизованно инструментальные фирмы Iscar, Walter, Dormer, Kennametal и др. Резцы оснащены быстросменными двухгранными неперетачиваемыми пластинами твердого сплава с многослойными сверхтвердыми покрытиями. Это позволяет осуществлять обработку с высокими скоростями резания зубьев на заготовках из легированных сталей с достаточно высокой твердостью, прошедших улучшение или закалку. Для резцов используются быстросменные пластины шириной 3 – 6 мм нескольких фирм Sandvik Coromant, Iscar.

Инструмент фирмы Iscar использует с пластины HELIFACE и GRIP с державками серии HGHR/L- T, обеспечивающими глубины резания от 12 до 32 мм с шириной режущей кромки 3-6 мм.

Этот инструмент обладает свойством самой широкой универсальности. Головками одного наименования можно нарезать зубчатые венцы с определенным радиусом арки указанного выше модуля, с любым числом зубьев и любой коррекцией. Все задачи формообразования решаются с помощью управляющей программой станка с ЧПУ.

На графике (рис. 3) представлена рекомендуемая глубина резания и подачи для пластин серии HFPR/L.

Резцовые головки можно оснастить адаптерами (рис. 4) вместо канавочных резцов, применение которых позволит сократить затраты и упростить конструкцию режущего инструмента.

В качестве резцовых головок можно применять кольцевые сверла (рис. 5), оснащенные твердосплавными пластинами с шириной зуба от 3 мм для обработки конструкционных и легированных сталей различной твердости. Все выпускаемые кольцевые сверла имеют сменные хвостовики и позволяют получить колеса различного модуля и шириной венца не более 120 мм. Повысить производительность изготовления зубчатых колес с арочными

зубьями позволяет использование РГ для предварительного прорезания впадины между зубьями с последующим применением кольцевых сверл для чистовой обработки.

Нарезание зубчатых колес с арочными зубьями осуществляется на фрезерных и токарных станках ЧПУ с 4-мя или 5-ю координатами. Точность фактически определяет одна точка на вершине профиля инструмента, лежащей на прямой касательной к основному цилиндру.

Выбор оборудования с одной стороны должен быть ориентирован на обеспечение высокой производительности и экономичности работы, а с другой — на удовлетворение требований экологии и охраны окружающей среды. С этой точки зрения рекомендуется производить обработку без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств, являющихся одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Одновременно этот способ позволяет проводить точную обработку деталей из закаленных сталей и исключить дорогостоящий и неэкологичный процесс шлифования.

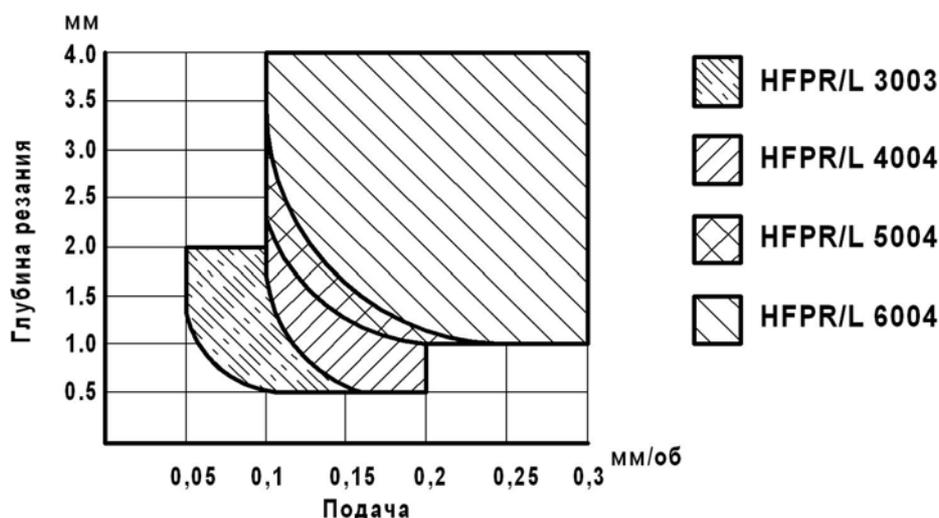


Рисунок 3 – График рекомендуемой глубины резания и подачи для пластин HFPR/L различной ширины и державки



Рисунок 4 – Резцовая головка и адаптеры к канавочным резцам

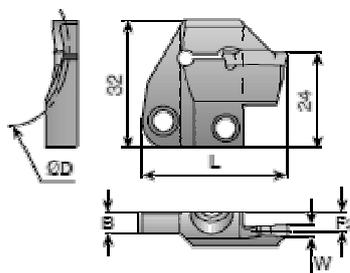


Рисунок 5 – Корончатое сверло

Станки фирмы MORI SEIKI мод. NT3200DCG/ NT4200DCG (рис. 6) соединяют в себе высокую жесткость и технологические возможности полноценного фрезерного станка. Станок мод. NT3200DCG применим при ограниченной кривизне арки. Станок мод. NT4200DCG в этом плане более универсален.

Станок мод. NH4000 DCG (рис. 7) является новейшей серией горизонтальных фрезерных станков ЧПУ. Сверхжесткая станина обеспечивает высокую точность и стабильность обработки.

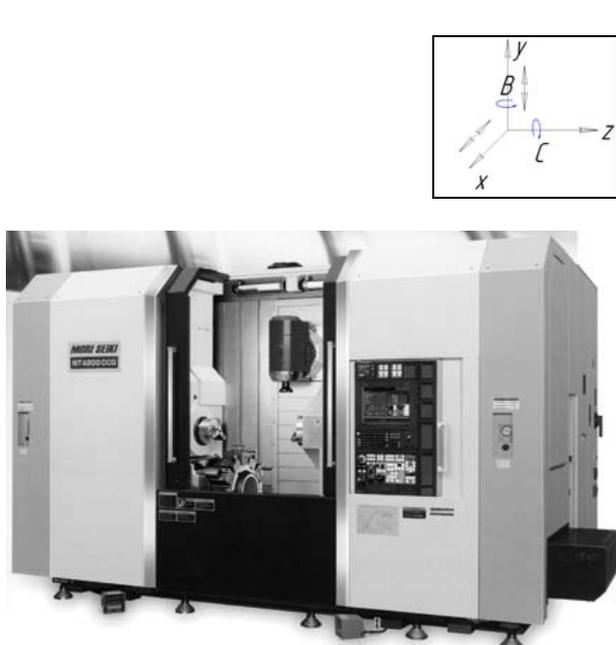


Рисунок 6 – Токарный обрабатывающий центр MORI SEIKI серии NT

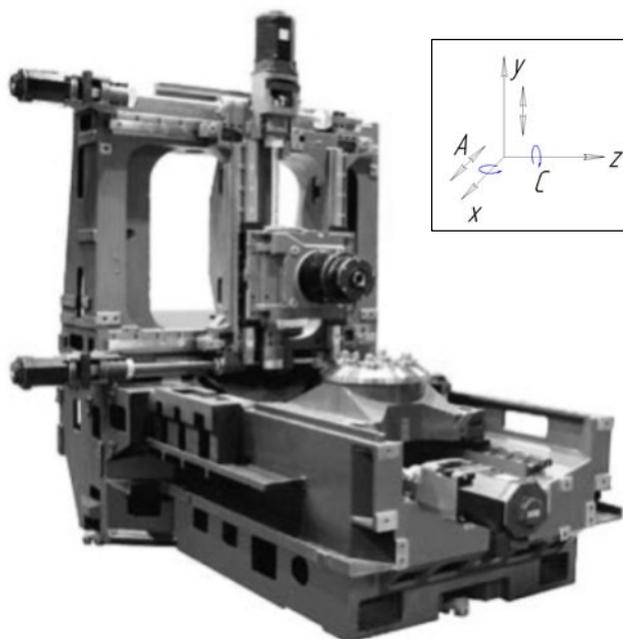


Рисунок 7 – Четырехкоординатный станок MORI SEIKI серии NH

Применение новейших технологий при проектировании приводов и направляющих позволило повысить точность обработки и чистоту поверхности заготовки, существенно уменьшив время обработки и износ инструмента. Это достигается за счет высокой скорости вращения стола (до 100 об/мин).

Оборудование выпускаемое фирмой GOODWAY используется для прецизионной обработки деталей. В них сочетаются такие свойства, как высокая мощность главного привода, жесткость конструкции и точность, высокая технологическая гибкость и производительность, наличие 4-й координаты значительно расширяют технологические возможности оборудования.



Рисунок 8 – Станок GOODWAY мод. GS-200

Целесообразно остановить выбор на модели. GS-200 (рис. 8) в силу того, что основные параметры получаемого колеса не будут выходить за пределы указанные в технических характеристиках оборудования. К тому же вес станка и его компактность позволит сократить площадь, занимаемого оборудованием.

Таким образом, наиболее производительным и дешевым способом обработки колес с арочными зубьями по выбранным параметрам является использование резовых головок с нулевым углом профиля для прорезания впадины, и последующее чистовое формообразование

кольцевыми сверлами на 4-х координатных станках с ЧПУ. Благодаря этому способу обрабатываемые колеса имеют точную геометрию в любом сечении зуба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобков М.Н. Теоретически аспекты технологии изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / М.Н. Бобков // Автореферат д-ра техн. наук.: ТулГУ, 1998.
2. Бобков, М. Н. Анализ методов фрезерования арочных зубьев цилиндрических колес [Текст] / М. Н. Бобков // Известия ТулГУ. Сер. Машиностроение. – Тула : ТулГУ, 1998.
3. Паршин, А. Н. Разработка методов анализа, синтеза зацепления и изготовления арочных цилиндрических зубчатых колес [Текст] / А. Н. Паршин : Автореф. дис. ... канд. техн. наук – М. : 2008. – 160 с.
4. Пат. 2404030 РФ. Способ изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / В. Д. Плахтин, И. Г. Панков, А. П. Давыдов, Р. Б. Марголит, А. Н. Паршин, С. И. Липатов – Приоритет изобретения 16.04.2009 № 2009114308; Опубл. 20.11.2010, Бюл. №32.

Макалова Ольга Александровна

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Магистрант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: forward-16@mail.ru

Рубин Павел Сергеевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Магистрант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: paulus_rub@mail.ru

O.A. MAKALOVA, P.S. RUBIN

THE EQUIPMENT AND THE INSTRUMENT FOR MANUFACTURE OF GEARS WITH ARCHED TEETHS

In paper the question is considered on sampling of the instrumental and the rig of baseline for handling of cylindrical gears with arched teeth tool heads with a zero angle of a profile of an active face is considered.

Keywords: an arch tooth, cylindrical gear, the tool head, the cutting circuit design.

BIBLIOGRAPHY

1. Bobkov M. N. Theoretically aspects of manufacturing methods of cylindrical wheels with arch teeth[Text]/ M. N. Bobkov //the Autoabstract of a Dr.Sci.Tech.: Tula State University, 1998.
2. Bobkov M. N. The analysis of methods of milling of arch teeth of cylindrical wheels [Text]/ M. N. Bobkov // News of TSU. A series Engineering industry. - Tula: Tula State University, 1998.
3. Parshin A.N. Working of methods of the analysis, synthesis of cogging and manufacture of arch cylindrical toothed wheels [Text]/ A. N. Parshin// The autoabstract of Cand.Tech.Sci. Moscow, 2008. 160 with.
4. The Patent of the Russian Federation №2404030 Mode of manufacture of cylindrical sprockets with arch teeth [Text]/ V.D.Plahutin, I.G. Punks, A.P.Davidov, R.B.Margolit, A.N.Parshin, S.I.Lipatov - the Priority of the invention of 4/16/2009 № 2009114308; Publ. 11/20/2010 Bjul. №32.

Makalova Olga Aleksandrovna

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
The M.Eng. of the Department «Technology of Machine Building and Design Technology Computer Science»
Phone: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: forward-16@mail.ru

Rubin Pavel Sergeevich

Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
The M.Eng. of the Department «Technology of Machine Building and Design Technology Computer Science»
Phone: (4862) 55-55-24, 54-15-19
E-mail: paulus_rub@mail.ru

А.Н. ПРЕЖБИЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛЕДЯНОЙ ЧАСТИЦЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОДОЛЕДЯНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.

В статье изложены данные об исследовании структуры 30 ледяных частиц, систематизации и анализе полученных данных, построении на их основе трехмерной модели ледяной частицы.

Ключевые слова: водоледающая очистка, ледяная частица, трехмерная модель.

В процессе производства, хранения и эксплуатации изделий машиностроения на поверхностях деталей возникают различные загрязнения. Для дальнейшего использования таких деталей, необходимо производить их очистку от загрязнения. Так же вопрос удаления загрязняющего покрытия возникает при ремонтных и восстановительных операциях.

Причины образования загрязнений различны: окисление поверхности металлов (окислы, продукты коррозии), термическое разложение масел (нагары, асфальтосмолистые отложения), эмульсионные и масляные пленки, механические частицы (абразив, стружка и т.п.), остатки обработки резанием (стружка, абразив, заусенцы, остатки шлифовальных и полировальных паст, эмульсий), обработка давлением и литьем (графитные и жировые смазки, пригары, формовочная земля), процессы сварки и пайки (остатки флюса, окалина), хранение и транспортировка (консистентные и консервационные смазки), попадание загрязнений из окружающей среды и др.

При формообразовании деталей различными методами (штамповкой, прессованием, литьем, ковкой и др.) на поверхности и кромках деталей остаются излишки материалов, вызывающие нарушение формы и точности обработанных поверхностей деталей. К ним относятся: грат, облой, заусенцы, окалины, пригары, шаржированные частицы.

Поскольку загрязнение поверхности металла представляет собой в общем случае смесь твердых мелких частиц с полимеризованными остатками масел, смазок и жиров, то его удаление часто требует весьма значительных усилий.

Среди известных методов очистки наиболее универсальными и перспективными являются струйные способы [1-3].

Среди всех струйных способов очистки наиболее прогрессивным является гидроабразивный способ [1]. Однако, обладая большой производительностью обработки, необходимо считаться со значительной стоимостью абразивного материала, его безвозвратным расходом и с вопросами его утилизации.

Поэтому актуальным при рассмотрении возможности повышения эффективности ГАО является нахождение замены традиционного абразивного материала – песка. Этому в полной мере может соответствовать лед – твердый материал, обладающий при ударе большой разрушающей силой, который также удовлетворяет экологическим и экономическим требованиям. Эффективность разрезания листовых неметаллических материалов высоконапорной водоледающей струей была подтверждена в работах [2,3]. В данном случае, в отличие от процесса очистки водоледающей струей, рабочее давление составляло 250 МПа, т.е. примерно в 5 раз большее. Однако формирование режущей водоледающей струи происходило иначе, чем в предлагаемом способе очистки. Высоконапорная струя воды диаметром 0,15 – 0,3 мм смешивалась с увлекаемым потоком жидкого азота по принципу эжекции, в результате чего образовывалась трехфазная структура – водоледающая струя и газообразный азот. Таким «режущим инструментом» производилось воздействие на раскраиваемый листовой неметаллический материал.

Проведенные авторами предварительные эксперименты по использованию водоледяной струи, сформированной по вышеуказанному принципу, для очистки поверхностей ожидаемой эффективности не принесли. Оказалось, что процесс таяния только что сформированных ледяных частиц для случая водоледяной очистки значителен и на выходе из струйного аппарата формируется не ожидаемый поток ледяных гранул и воды, а поток всего лишь холодной воды. Получается, что затраты на формирование частиц льда для получения ожидаемой высокой производительности ничего не принесли из-за значительного таяния ледяных частиц в процессе прохождения большой длины гидроструйного аппарата для очистки, где рабочая длина составляет 500 – 700 мм (для образования необходимого пятна контакта) в отличие от конструкции технологического инструмента для водоледяной резки, где рабочая длина всего 20 – 30 мм.

Основным техническим решением с использованием льда, позволяющим создать требуемую производительность очистки, сопоставимую с производительностью ГАО, является применение заранее подготовленных твердых ледяных частиц размером 1,5 – 2 мм.

Для рассмотрения процесса воздействия ледяной частицы на загрязняющую поверхность а так же на очищаемую деталь необходимо представление о геометрических параметрах преобладающего большинства частиц. Ледяная частица имеет подобие режущий кромок. Следовательно важное значение имеет возможность точного прогнозирования геометрических параметров ледяных частиц.

Для проведения эксперимента была заморожена вода без примесей и механических включений. Температура льда -12°C . Из кусков льда методом механического дробления и просеивания через 2 сита с размерами ячеек 3 мм и 1мм были получены ледяные частицы с размерами в диапазоне 1 – 3 мм.

Было произведено фотографирование на цифровую фотокамеру с 15-20 кратным увеличением 30 ледяных частиц размером 1 – 3 мм с различных ракурсов, с тем условием чтобы данные изображения давали максимальное представление о реальной частице. Ледяные частицы были помещены на миллиметровую бумагу для возможности дальнейшего точного измерения их параметров. Пример полученного изображения на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фотография ледяной частицы

Изображения ледяных частиц были обработаны с применением средств вычислительной техники. Каждое изображение было импортировано в программу Компас. Масштаб изображения был рассчитан исходя из размеров клетки на миллиметровой бумаге являющейся фоном для съемки частиц. Реальный размер сопоставлялся с измеренным и из их соотношения определен масштаб. Далее контуры ледяной частицы обводились прямыми

линиями. Для упрощения профили криволинейных поверхностей близких к плоскостям отмечались прямыми линиями. Размеры и углы профиля ледяной частицы были измерены программными средствами Компаса, что дает максимальную точность проведенным исследованиям. Пример обработанной фотографии с измеренными размерами и углами на рисунке 2.

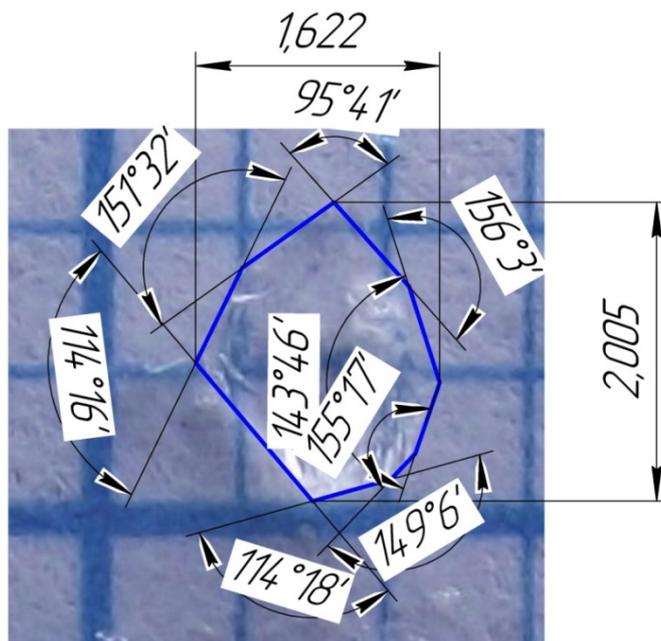


Рисунок 2 – Размеры и углы в профиле ледяной частицы

В результате анализа полученных данных выяснилось что большинство частиц имеет форму многогранника с хаотичным расположением поверхностей. Преобладающие углы – тупые. Величина среднего угла $122,27^{\circ}$.

Была рассчитана вероятность наличия у ледяной частицы острых углов, их количества, а так же диапазон их значений. Вероятность наличия у частицы одного острого угла не превышает 11%, возможность образования большего количества таких углов крайне мала и в дальнейшем не рассматривалась, диапазон значений острых углов: $60-90^{\circ}$.

В итоге, среднестатистическая ледяная частица имеет следующие параметры:

- Количество граней 20 – 27
- Форма – правильный многоугольник
- Углы пересечения граней: $93 - 15^{\circ}$
- Форма граней – плоские поверхности

На основе усредненных данных была построена приближенная трехмерная модель ледяной частицы. Модель создавалась в программе Компас 3D стандартными средствами программы в максимальном соответствии средним параметрам ледяных частиц.

Основные виды с модели и её изометрия показаны на рисунках 3-6.

На основе полученной модели возможно с определенной долей вероятности предполагать какие геометрические параметры будет иметь наугад взятая частица. Следовательно существует возможность рассчитывать углы режущих кромок частиц и их воздействие на слой счищаемого материала, а также предотвращать воздействие на поверхность очищаемой детали.

Схема воздействия ледяной частицы на удаляемое покрытие и её разрушения вследствие удара о поверхность детали представлена на рисунке 8.

Проведенные в данной работе исследования являются достаточной основой для дальнейшего создания математической модели ледяной частицы и расчета на основе её и так же уже построенной трехмерной модели параметров и режимов водоледяной очистки поверхности деталей машин.

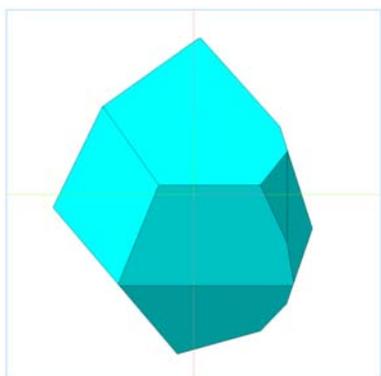


Рисунок 3 – Вид модели ледяной частицы спереди

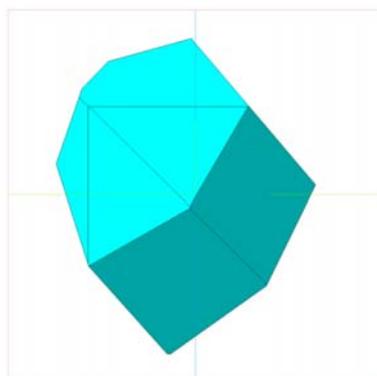


Рисунок 4 – Вид модели ледяной частицы слева

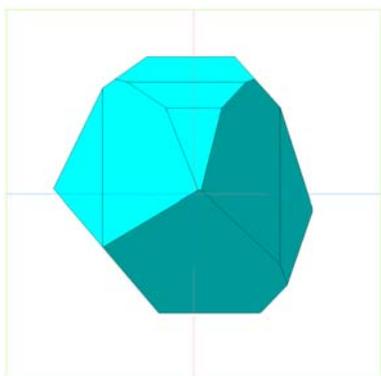


Рисунок 5 – Вид модели ледяной частицы сверху

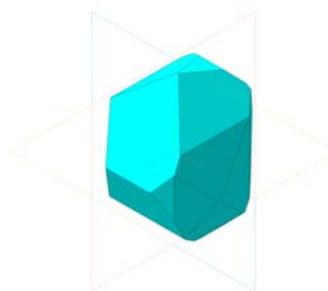


Рисунок 6 – Вид модели ледяной частицы изометрия

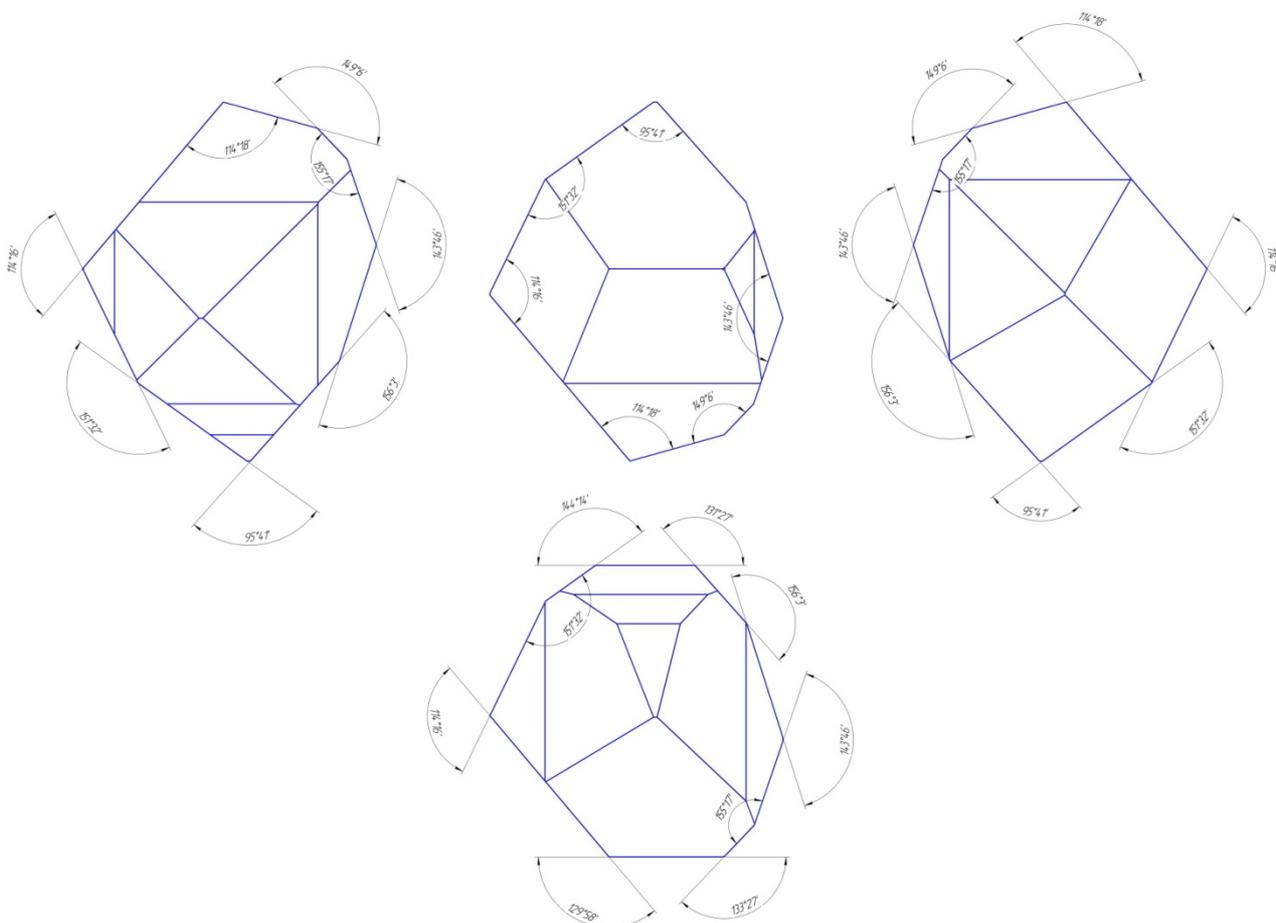


Рисунок 7 – Углы в плане модели ледяной частицы

Ледяная частица имеет острые кромки и плоские грани, следовательно её можно рассматривать как режущий лезвийный инструмент в тех случаях, когда прочность очищаемого покрытия меньше прочности частицы.

Большое количество острых кромок у ледяной частицы позволяет условно утверждать что ударяясь под любым углом в очищаемое покрытие частица будет проникать в него острой кромкой, т. е. будет воздействовать как режущий инструмент.

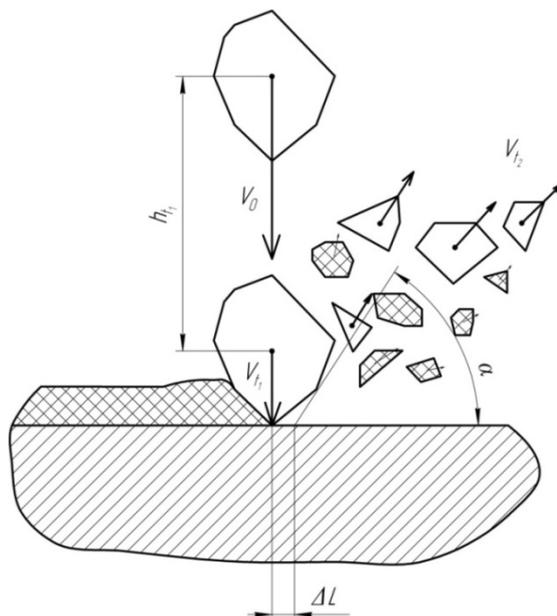


Рисунок 8 – Схема воздействия на удаляемое покрытие ледяной частицы и её разрушения:

α – усредненный угол отскока элементов ледяной частицы и удаляемого покрытия,

V_0 – начальная скорость частицы, V_{i1} – скорость частицы в момент удара о поверхность очищаемой детали,

V_{i2} – скорость в момент отскока, h_{i1} – высота падения частицы,

ΔL – единичное перемещение инструмента над обрабатываемой деталью.

Результаты экспериментальных исследований [2, 3] показали положительный эффект применения частиц льда взамен абразивных материалов. Так производительность очистки водоледяной струей «проигрывала» производительности ГАО в среднем на 12%. При учете необходимости безвозвратных затрат на приобретение и дальнейшую утилизацию абразива это является положительным результатом и дает предпосылки для дальнейших научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, Ю. С. Очистка изделий в машиностроении [Текст] / Ю. С. Козлов, О. К. Кузнецов, А. Ф. Тельнов. – М. : Машиностроение, 1982. – 261 с.
2. Степанов, Ю. С. Прогрессивные технологии гидроструйного резания материалов [Текст] / Ю. С. Степанов, М. А. Бурнашов, К. А. Головин. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2009. – 318 с.
3. Бурнашов, М. А. Повышение эффективности разрезания листовых неметаллических материалов водоледяными струями высокого давления [Текст] / М. А. Бурнашов : Автореф. дис. ... д-р техн. наук – Орел, 2010. – 37 с.

Прежбилов Александр Николаевич

ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл

Студент

E-mail: stker@rambler.ru

A.N. PREZHBILOV

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE OF ICE PARTICLES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE CLEAN VODOLEDYANOY SURFACES OF MACHINE PARTS

The article presents data on the study of the structure 30 ice particles, organizing, and analyzing the data, building on their three-dimensional model based on an ice particle.

Keywords: vodoledyanaya stonecrop, the ice particle, three-dimensional model.

BIBLIOGRAPHY

1. Yu.S. Kozlov, O.K. Kuznetsov, A.F. Telnov, Product Refinement in Mechanical Engineering.—M.: Mechanical Engineering, pp. 261, 1982.
2. Yu.S. Stepanov, M.A. Burnashov, K.A. Golovin, Progressive Technologies in Hydro-jet Material Cutting.-Tula: Publishing House TulSU, pp. 318, 2009.
3. M.A. Burnashov, Effectiveness Increase in Sheet Non-Metal Material Cutting with Water-Ice High-Pressure Jets: Abstract of Thesis for Degree of Dr.Sc.tech., -Orel, pp.37, 2010.

Prezhbilov Alexander Nikolayevich

Polikarpov Technological Institute

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Student

E-mail: stker@rambler.ru

УДК 621.9.047

В.П. СМОЛЕНЦЕВ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ С НАЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В статье приведен анализ состояния исследований в области комбинированных методов обработки с наложением электрического поля. Обоснованы направления работ по проектированию нетрадиционных технологических процессов. Оценена возможная область применения новых технологий при создании наукоемких изделий.

Ключевые слова: комбинированные методы обработки, состояние, перспективы.

При производстве наукоемких изделий машиностроения широко используются нетрадиционные технологические процессы, в том числе комбинированные методы обработки с наложением электрического поля. Сейчас трудно представить изготовление продукции авиационнокосмической отрасли без электрических методов, которые, хотя и занимают незначительный процент общей трудоемкости изготовления изделий, тем не менее позволяют создать сложные летательные аппараты на уровне мировых достижений. Современное машиностроение использует в основном различные виды обработки лезвийным и абразивным инструментом и усилия станкостроителей направлены на совершенствование оборудования, средств технологического оснащения, в том числе за счет автоматизации, широкого использования возможностей современной вычислительной техники. Однако сам механизм формообразования остается неизменным: это силовое воздействие на заготовку более твердым, чем обрабатываемый материал, инструментом, новые средства управления кинематикой системы «инструмент - деталь», увеличение числа используемых координат, необходимость в непосредственном контакте режущих элементов с зоной формообразования заготовки. Фактически используется только одно физическое воздействие - механическое (постоянное или дискретное).

Оценка физических воздействий при обработке.

Известно достаточно большое количество физических факторов, которые существенно влияют на технологические показатели механообработки (как положительно, так и отрицательно). Усиление положительных воздействий, как правило, становится возможным, если объединить несколько видов физических воздействий в форме одного комбинированного метода, устраняя при этом недостатки, свойственные как наиболее изученным методом механической обработки, так и проектируемым технологическим процессам.

На современном уровне развития техники можно выделить следующие виды воздействий, способных расширить технологические возможности традиционных методов обработки (в основном механические процессы): тепловые, которые определяют показатели электроэрозионных процессов (электроискрового, электроимпульсного, электроконтактного, легирования, покрытия); лучевые методы (обработка электронным, ионным, световым лучами); химические (анодные и катодные виды формообразования в стационарном и нестационарном режиме), особые случаи использования концентрированных импульсных воздействий (ультразвуковое формообразование, интенсификация процессов, промывка, контроль и др.), формообразование импульсами высоких энергий (взрыв, разряд в жидкости, электромагнитные воздействия и др.). В меньшей степени изучены магнитные и ядерные воздействия, хотя известны случаи успешного их использования в комбинированных методах обработки [1]. При комбинации различных физических воздействий можно ожидать появления более 800 новых технологических процессов, часть которых могла создать «прорывные» технологии, существенно расширяющие возможности разработчиков по проектированию перспективных наукоемких изделий. Конечно не все новые процессы окажутся эффективными, но даже те из них, которые хотя бы поверхностно изучены (см. [1]), подтверждают целесообразность дальнейших работ в этом направлении. В [1] приведен анализ уровня изучения комбинированных методов обработки (КМО) (рис. 1).

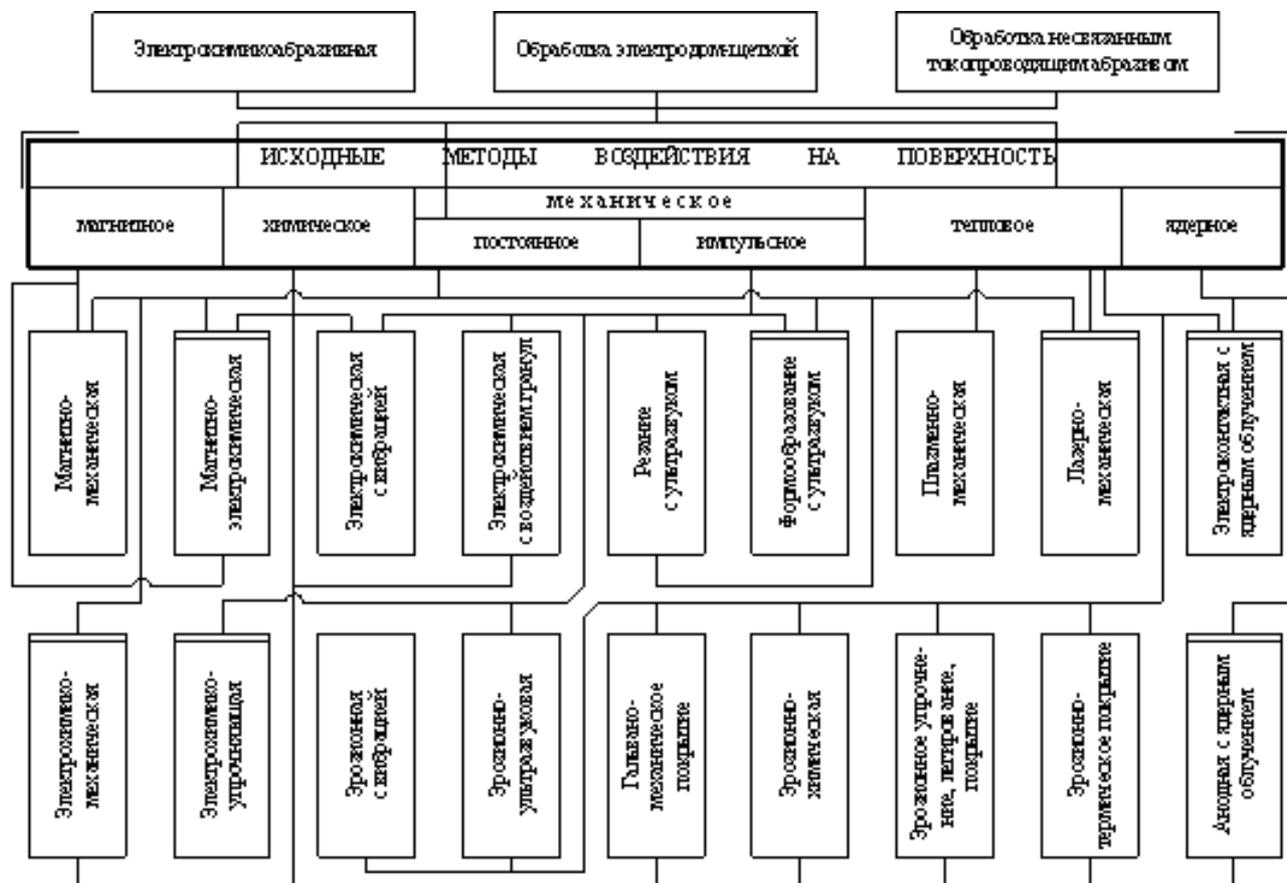


Рисунок 1 - Классификатор известных КМО

Из рисунка 1 видно, что в настоящее время получены доказательства о возможности использования в промышленности не более 2-3% теоретически совместимых видов воздействий, из которых около половины изучены на уровне единичных экспериментов.

Состояние работ в области комбинированных методов обработки с наложением электрических полей и возможности их применения в технике.

Следует подчеркнуть, что в последние десятилетия перестали функционировать в рассматриваемой отрасли практически все отраслевые технологические центры, что явно замедлило прогресс в области разработки комбинированных методов с наложением электрических полей. Исторически сложилось так, что все ведущие станкостроительные фирмы (Швейцария, Япония, Германия, США и др.) активно использовали наши научные достижения и быстро реализовали их в виде качественного оборудования, которое попадало и в наше отечество. В результате выигрывали все машиностроители. Утрата исследовательских центров в России сильно замедлила создание новых видов оборудования во всем мире, что убедительно подтверждается анализом станков, приобретаемых в последнее время у зарубежных фирм, где не наблюдается использования принципиально новых (хотя бы на уровне изобретений) технических решений. Последнее доказывает весомый вклад в мировое машиностроение отечественных ученых, что мы ранее явно недооценивали. Предпринятые усилия реанимировать отечественное станкостроение, ускорить развитие авиационно-космической отрасли требуют раскрытия перспектив создания комбинированных методов обработки. При этом необходимо учесть объективно существующий переход промышленности на гибкоструктурное производство с преимущественным использованием высокоавтоматизированного, быстроперенастраиваемого оборудования, универсальной оснастки, адаптированных к современным условиям производства кадров инженерно-технического и рабочего персонала.

Удачная попытка подготовки кадров была сделана в Воронеже путем создания университетских комплексов, объединивших потенциал колледжа (бывшего ПТУ при заводе), базовой кафедры технического университета, отдела технической подготовки Воронежского механического завода. Колледж специализировался на выпуске рабочих и техников, университет – на обучении инженеров, завод – на организации подготовки и переподготовки специалистов с учетом характера выпускаемой и осваиваемой продукции. После организации комплекса стала более эффективно использоваться материальная база, в том числе современное заводское оборудование, которое ранее вуз не мог приобрести и загрузить, улучшилась адаптация специалистов к условиям работы при изготовлении наукоемкой ракетно-космической и авиационной техники.

Технологические показатели комбинированных методов, применяемых в машиностроении, зависят также от уровня исследований в области традиционных процессов. В работе будут рассмотрены новые способы, которые относятся к области электрических методов обработки [2].

Комбинация воздействий в едином технологическом процессе.

Результаты, достигнутые по исследованию вопросов проектирования технологических процессов с использованием различных физических воздействий (рис. 1), позволяют перейти к обоснованному синтезу этих воздействий в форме комбинированных способов обработки [1]. Тогда открываются широкие перспективы для создания наукоемкой техники и расширения научной базы технологов.

Значительный интерес представляют способы обработки с управлением электромагнитным полем через многослойные металлические и диэлектрические шаблоны [1], [3].

На рисунке 2 приведены схемы комбинированного разделения и формирования каналов с использованием шаблонов.

Границы действия электрического поля между катодом-инструментом 1 и анодом-деталью 4 (рис. 2) копируются диэлектрическим шаблоном 3, что определяет контур вырезаемой детали (рис. 2,а), получаемый путем анодного растворения в среде электролита 2 отхода заготовки. Таким образом можно получить качественные листовые детали любой формы толщиной до 0,6-1,0 мм. Погрешность контура подобных изделий можно оценить как 0,1 толщина листа, что соответствует стандартным требованиям к точности листовых заготовок. Большим достоинством предложенного способа является исключение потребности в вырубных штампах и отсутствие заусенцев на границах получаемого контура. Трудоемкость изготовления детали с контуром любого профиля (например, толщиной 0,5 мм) не превышает 1 минуты, а подготовка производства занимает не более 2 часов. Предлагаемый процесс обеспечивает быстрое освоение выпуска новых типоразмеров листовых заготовок и деталей в гибкоструктурном современном производстве. В настоящее время требуются последующие исследования по повышению точности и расширению области изготовления сложноконтурных заготовок из листа толщиной более 1мм.

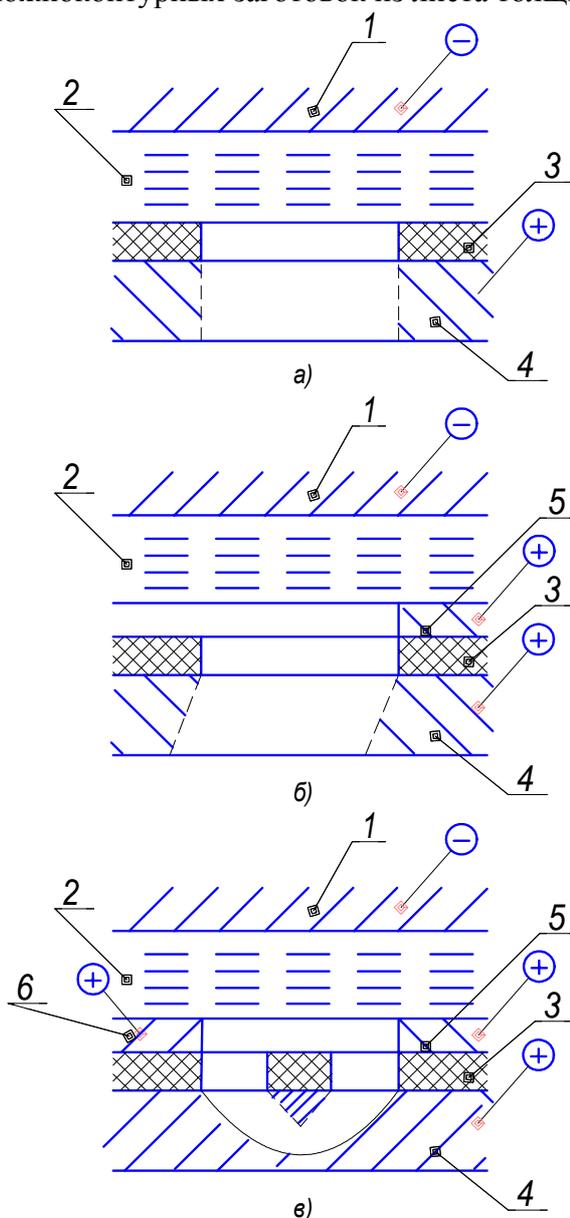


Рисунок 2 - Управление магнитным полем при электрохимической размерной обработке отверстий
 а) с использованием диэлектрического шаблона; б) через металлический односторонний шаблон;
 в) через 2 металлических и диэлектрический шаблоны
 1 – катод-инструмент; 2 – рабочая среда (электролит); 3 – диэлектрический шаблон; 4 – анод-деталь;
 5;6 – металлические шаблоны-аноды

Разработанный учеными Казани и Воронежа метод управления анодным процессом с помощью одностороннего (рис. 2, б) и многосторонних (рис. 2, в) металлических шаблонов, независимо подключенных к источникам постоянного тока с регулируемыми параметрами, позволяет изменять направление оси канала и получать как наклонные (рис. 2, б), так и отверстия любого сечения с односторонним выходом (рис. 2, в). Дальнейшее развитие работ в этом направлении имеет большие перспективы и позволяет создавать охлаждаемые изделия (теплообменники в авиакосмической отрасли, в атомных установках и др.) с параметрами, не достижимыми при других методах получения трактов охладителя.

С переходом на непрофилированный инструмент [4] удалось создать универсальный электрод в форме комбинированной (металл-диэлектрик) щетки, что решило проблему выполнения зачистных операций заготовок различного назначения, снятие заусенцев, доводку поверхностей под гальванические покрытия. Здесь целесообразно направить усилия разработчиков на создание средств технологического оснащения для конкретных приложений исследованного процесса обработки электродом-щеткой.

В качестве универсального инструмента в комбинированном электрохимикомеханическом процессе могут использоваться несвязанные металлические гранулы [5], которые позволяют вести обработку участков деталей, удаленных от места установки инструмента, например, закрытых полостей (рис. 3).

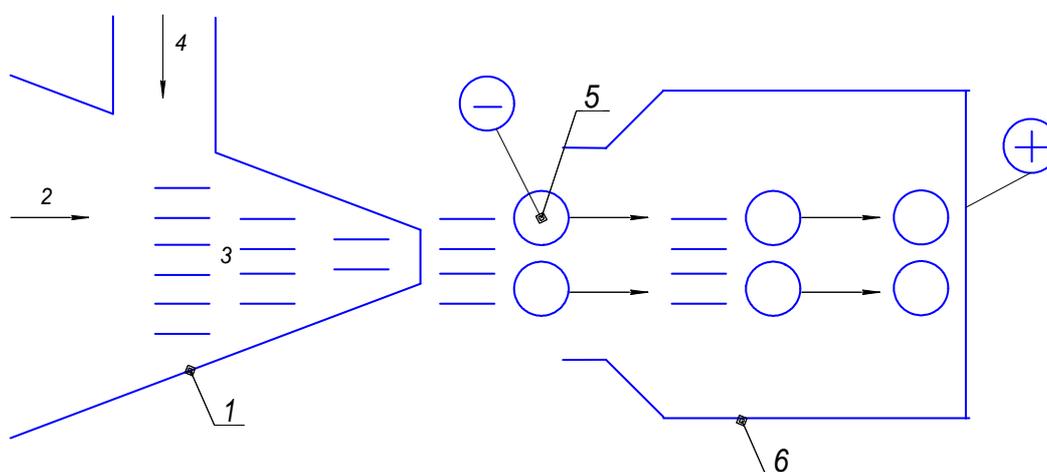


Рисунок 3 – Схема обработки трудно доступного участка металлической детали несвязанными металлическими гранулами

1 – сопло для подачи рабочей среды 3 с гранулами 5; 2 – направление подачи рабочей среды; 4 – направление подачи гранул; 6 – обрабатываемая деталь

На рисунке 3 внутренняя часть детали 6 может быть недоступна для подвода инструмента через горловину, поэтому приходится очищать и полировать донный участок абразивными порошками, что не обеспечивает требуемого качества поверхности (остаются загрязнения, необработанные зоны). Применение металлических (или графитовых) гранул 5 в потоке слабого электролита (рабочей среды 3) с их перемещением в направлениях, показанных стрелками 2;4, позволяет обеспечить анодное растворение обрабатываемой поверхности детали 6 и за счет соударения ее с гранулами 5 удалить все загрязнения и снизить шероховатость поверхностного слоя. Такой метод обработки позволяет значительно расширить технологические возможности изготовителя и способствует разработке наукоемкой техники нового поколения. Главное перспективное направление исследований в этой области – создание системы управления потоком гранул различных типоразмеров для обеспечения размерного удаления припуска и получения требуемого качества поверхностного слоя. Здесь установлен ранее не известный эффект аномального поведения металлических гранул, которые могут проявлять себя как диэлектрики или проводники, что также требует дальнейшего изучения, создающего условия эффективного управления процессом размерного формообразования.

Для придания требуемых эксплуатационных характеристик материалам наукоемких изделий и удаления загрязнений разработан способ магнитноимпульсной обработки [6], [7], позволяющий стабилизировать геометрию крупногабаритных заготовок и выполнять их подготовку к механообработке без использования дефицитного и энергоемкого термического оборудования. Это особенно привлекательно для предприятий малого и среднего бизнеса, как правило, не имеющих таких установок.

Для ремонта и восстановления геометрии изношенных деталей предложен «холодный» способ гальваномеханической обработки [8] с управляемым покрытием участков другим металлом. Подобный способ раскрыт в [1] применительно к восстановлению профиля зубчатых передач, шлицевых соединений, где удается без разборки редукторов получить эвольвентивный профиль с погрешностью в несколько микрон при шероховатости не выше $R_a=1,6$ мкм. Как показано в [8] гальваномеханическим методом можно достаточно быстро наращивать на изношенные участки детали равномерные слои толщиной до 800мкм, то есть полностью восстановить работоспособность деталей с минимальными материалами и трудовыми затратами.

При изготовлении ажурных деталей (преимущественно в авиакосмической отрасли) необходима надежная маркировка изделий на всех этапах технологического цикла. Здесь нашло применение электрохимическое и комбинированное нанесение информации [9], [1], позволяющее получить стандартные изображения без силовых воздействий на деталь. В [10] решена задача маркировки металлических деталей с диэлектрическим покрытием, что позволило значительно расширить возможности технологов по изготовлению наукоемкой продукции. Продолжаются исследования в этом направлении по созданию способов нанесения информации на детали с толстостенным покрытием и на материалы с анизотропной проводимостью (из керамики, порошка, гранул).

Перспективным направлением применения комбинированных методов обработки является принципиально новый способ управления процессом анодного растворения через степень наклепа поверхностного слоя [11]. Схема осуществления способа приведена на рисунке 4.

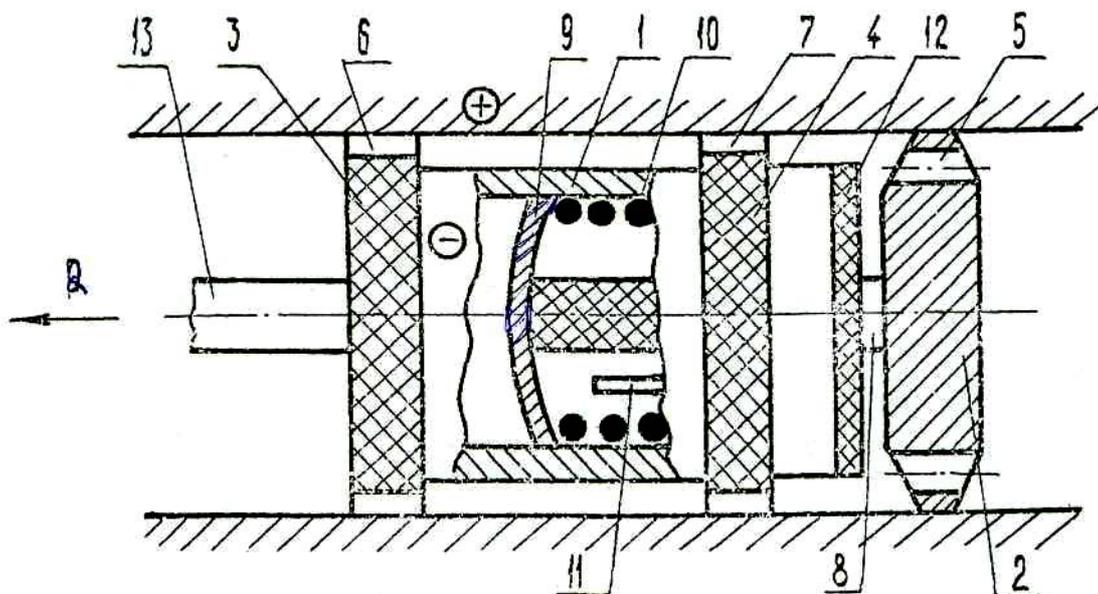


Рисунок 4 – Способ электрохимико-механической обработки Q – постоянная сила перемещения электрода-инструмента вдоль зоны обработки;

1 – рабочая часть; 2 – калибрующий элемент; 3;4 – передняя и задняя направляющие электрода;
5;6;7 – каналы для прохождения жидкости (электролита); 8 – тяга; 9 – диафрагма; 10 – упругий элемент;
11 – выключатель подачи тока к штанге 13; 12 – диэлектрический переходник

В отличие от принятых способов электрохимической размерной обработки каналов с постоянной скоростью перемещения рабочей части 1 электрода-инструмента вместе с

направляющими 3;4 и штангой 13, через которую в зону обработки подается ток и рабочая среда (каналы 5;6;7), в способе, представленном на рисунке 5, движение инструмента происходит с переменной скоростью, регулируемой силой сопротивления движению калибрующего элемента 2. Эта сила изменяется по мере анодного растворения припуска рабочей частью 1 электрода-инструмента за счет контакта элемента 2 с обрабатываемым каналом. Для поддержания постоянной величины силы Q в рабочей части 1 установлен демпфирующий узел из упругого элемента 10, диафрагмы 9 и выключателя подачи тока 11. Диэлектрический переходник 12 устраняет подачу тока через тягу 8 на элемент 2, что могло вызвать короткое замыкание.

Предложенный способ [11] позволяет обеспечить достижение высокой точности размеров детали и стабильной расчетной степени наклепа, обеспечивающей наибольшую (близкую к предельной) усталостную прочность материала детали, что можно считать перспективным направлением развития ресурсосберегающих технологий.

Аналогичные исследования проведены по креогенноэрозионному устранению («залечиванию») микротрещин в сплавах после предшествующей механической обработки, что значительно повышает стойкость инструмента и в перспективе может улучшить усталостную прочность высоконагруженных деталей современной техники.

Выводы.

1. Проведенный выборочный анализ возможностей известных способов комбинированной обработки с наложением электрического поля показывает, что это одно из перспективных направлений развития технологической науки, отвечающих запросам современного гибкоструктурного промышленного производства, в частности в авиакосмической отрасли.

2. Рассмотренные в работе комбинированные методы позволяют разработчикам современной техники создавать наукоемкие изделия новых поколений с возможностью их эффективного изготовления при минимизации сроков запуска и затрат на переоснащение производства.

3. Намеченные в работе подходы к развитию комбинированных методов обработки позволят планировать перспективные направления исследований в области технологии, создания оборудования и средств технологического оснащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев, Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки [Текст] / Е. В. Смоленцев. – М. : Машиностроение, 2005. – 511 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3 : Технология изготовления деталей машин [Текст] / А. М. Дальский, А. Г. Суслов, Ю. Ф. Назаров [и др.]; Под общ. ред. А. Г. Суслова. – М. : Машиностроение, 2000. – 840 с.
3. Закирова, А. Р. Технология изготовления наклонных отверстий в тонколистовых заготовках [Текст] / А. Р. Закирова // Металлообработка. – 2004. – № 6. – С. 8-14.
4. Кириллов, О. Н. Технология комбинированной обработки непрофилированным электродом [Текст] / О. Н. Кириллов. – Воронеж : ВГТУ, 2010. – 254 с.
5. Кузовкин, А. В. Размерное формообразование сложнопрофильных деталей с применением твердого токопроводящего накопителя [Текст] / А. В. Кузовкин, В. П. Смоленцев. – Воронеж : ВГТУ, 2000. – 176 с.
6. Печегин, А. П. Режимы технологического процесса циклового воздействия на внутренние напряжения сварных и литых заготовок [Текст] / А. П. Печегин, А. И. Болдырев // Вестник ВГТУ – 2009. – Т.5, № 11. – С. 88-90.
7. Пат. 69787 РФ. Установка для очистки тары от загрязнений [Текст] / В. П. Смоленцев, А. В. Гребенщиков, И. Б. Николаенко, С. Л. Калужин. – Бюл. изобр. №1, 2008.
8. Жачкин, С. Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей [Текст] / С. Ю. Жачкин. – Воронеж : ВГТУ, 2002. – 138 с.
9. Смоленцев, В. П. Электрохимическое маркирование деталей [Текст] / В. П. Смоленцев, Г. П. Смоленцев, З. Б. Садыков. – М. : Машиностроение, 1983. – 72 с.
10. Осеков, А. Н. Механизм размерного формирования информационных знаков в диэлектрических покрытиях [Текст] / А. Н. Осеков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 4/3. – С. 62-66.
11. А.С. 1085734 (СССР) Способ электрохимикомеханической обработки [Текст] / А. И. Болдырев, В. П. Смоленцев. – Бюл. изобр. №14, 1984.

Смоленцев Владислав Павлович

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Д-р техн. наук, профессор

Тел.: 89036559970

E-mail: vsmolen@inbox.ru

V.P. SMOLENTSEV

STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECT OF COMBINED PROCESSING TECHNIQUES WITH IMPOSITION OF ELECTRIC FIELD

Analysis of investigations status in the sphere of combined processing techniques with imposition of electric field is given in the article. Lines of working for design of nontraditional engineering processes are founded. Possible application sphere of new technologies during the creation of science intensive items is estimated.

Keywords: *combined processing techniques, status, prospect.*

BIBLIOGRAPHY

1. Smolentsev E.V. Design of electrical and combined processing techniques // M.: Mechanical Engineering, 2005. – 511 p.
2. Mechanical Engineering. Encyclopaedia. T. III – 3 / edited by A.G. Suslova // M.: Mechanical Engineering, 2000. – 840 p.
3. Zakirova A.R. Fabrication method of oblique entry holes in thin sheet intermediates // Metal Processing, 2004, №6. – P.8-14.
4. Kirillov O.N. Combined machining technology by non-profiled electrode // Voronezh: VSTU, 2010. – 254 p.
5. Kuzovkin A.V. Dimensional shaping of profiled components with application of hard conducting accumulator / A.V. Kuzovkin, V.P. Smolentsev // Voronezh: VSTU, 2000. – 176 p.
6. Pechagin A.P. Engineering process procedures of cycle influence on the internal stresses of welded and cast intermediates / A.P. Pechagin, A.I. Boldyrev // Vestnik VSTU, 2009, t.5, №11. – P. 88-90.
7. Patent Ru 69787 Set for package cleaning from soiling (Authors: V.P. Smolentsev, A.V. Grebenshikov, I.B. Nikolaenko, S.L. Kaluzhin), bulletin of inventions, №1, 2008.
8. Zhachkin S.Y. Cold electrotype contact restoration of details // Voronezh: VSTU, 2002. – 138 p.
9. Smolentsev V.P. Electrochemical marking of details / V.P. Smolentsev, G.P. Smolentsev, Z.B. Sadykov // M.: Mechanical Engineering, 1983. - 72 p.
10. Osekov A.N. Mechanism of dimensional forming informational signs in dielectric surfaces // Fundamental and applied problems of technique and technology, 2011, №4/3. – P.62-66
11. A.S. 1085734 (USSR) Method of electromechanochemical machining (Authors: A.I. Boldyrev, V.P. Smolentsev) bulletin of inventions, №4, 1984.

Smolentsev Vladislav Pavlovich

FSBEI HVE «Voronezh State Technical University»

Doctor of Technical Science, professor

Phone: 89036559970

E-mail: vsmolen@inbox.ru

МАШИНЫ, АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 687.022

Н.А. ДЕМИДОВА, Е.Л. МОСЬКИНА, Г.Д. ГУЩИНА, В.А. КОНДРАТЕНКО

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В СИСТЕМЕ «КОРПУС - КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫЙ МЕХАНИЗМ» РАСКРОЙНОЙ МАШИНЫ

В статье рассматривается расчет горизонтальных составляющих динамических реакций в месте в соединении «кривошип – ротор» и в соединении «ползун – направляющие»

Ключевые слова: динамические реакции, вибрация, кривошип, ползун, ротор.

Введение.

В теории колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы для составления дифференциальных уравнений движения обычно используют общие теоремы динамики и методы аналитической механики. Преимущество аналитических методов заключается в том, что с их помощью можно исключить из дифференциальных уравнений движения реакции идеальных связей и обеспечить снижение размерности решаемой задачи. Наглядно это проявляется при использовании общего уравнения динамики и особенно уравнений Лагранжа второго рода, когда задача решается в обобщенных координатах. Если же реакции связей необходимо определить, то это можно сделать посредством формального приема, основанного на введении множителей Лагранжа. Показателен в этом плане переход от уравнений Лагранжа первого рода к уравнениям Феррерса [1].

Вследствие неуравновешенности вращающихся частей кривошипно-ползунного механизма корпус раскройной машины воспринимает дополнительные (не связанные с процессом разрезания материала) динамические реакции. Горизонтальные составляющие данных динамических реакций вызывают интенсивную вибрацию корпуса. Данная вибрация передается на руки оператора и оказывает негативное воздействие на его самочувствие и здоровье [2], [3].

Для описания движения трех основных элементов кривошипно-ползунного механизма (см. расчетную схему на рисунке 1) примем три обобщенные координаты $q \Rightarrow (\varphi, \psi, x)$.

Запишем уравнения связей:

$$f_1 \Rightarrow r \sin \varphi - \ell \sin \psi = 0; \quad (1)$$

$$f_2 \Rightarrow r \cos \varphi + \ell \cos \psi + x - \ell - r = 0 \quad (2)$$

Составим дифференциальные уравнения движения кривошипно-ползунного механизма в форме уравнений Феррерса [1]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i + \sum_{j=1}^2 \lambda_j \frac{\partial f_j}{\partial q_i}, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3)$$

где T – кинетическая энергия;

Q_i – обобщенные силы;

λ_j – множители Лагранжа;

$\frac{\partial f_j}{\partial q_i}$ – частные производные от уравнений связей.

В уравнениях (3) при записи кинетической энергии и обобщенных сил использованы обозначения инерционных и геометрических параметров, которые приняты на рисунках 1 и 2:

$$T = \frac{1}{2} J_1 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\psi}^2 - m_2 h \dot{x} \dot{\psi} \sin \psi + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}^2; \quad (4)$$

(ψ в точке «а»)

$$T = \frac{1}{2} J_1 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_2 (r^2 \dot{\varphi}^2 + h^2 \dot{\psi}^2) + \frac{1}{2} J_2 \dot{\psi}^2 - m_2 r h \dot{\varphi} \dot{\psi} \cos(\varphi + \psi) + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}^2; \quad (5)$$

(ψ в точке «b»)

$$\begin{aligned} Q_1 &= M_d - m_1 g h_1 \sin \varphi, \\ Q_2 &= m_2 g h \sin \psi, \\ Q_3 &= -m_3 g - m_2 g; \end{aligned} \quad (\psi \text{ в точке «а»}) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= M_d - m_1 g h_1 \sin \varphi - m_2 g r \sin \varphi, \\ Q_2 &= -m_2 g h \sin \psi, \\ Q_3 &= -m_3 g \end{aligned} \quad (\psi \text{ в точке «b»}) \quad (7)$$

При совместном решении уравнений (1) – (3) определяются обобщенные координаты и множители Лагранжа.

Произведем расчет горизонтальных составляющих динамических реакций в месте соединения «кривошип – ротор» $P_1(\varphi)$ и в соединении «ползун – направляющие» $P_2(\varphi)$.

Данный расчет проведем, полагая, что скорость вращения кривошипа постоянна, т.е. $\dot{\varphi} = \omega$.

В этом случае из уравнений связей (1) и (2) имеем:

$$\ddot{\psi} = \frac{\omega^2}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi}} \left(-\mu \sin \varphi + \frac{\mu^3 \cos^2 \varphi \sin \varphi}{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi} \right), \quad (8)$$

$$\ddot{x} = r \omega^2 \left(\cos \varphi + \frac{\mu \cos 2\varphi}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi}} + \frac{\mu^3 \sin^2 2\varphi}{4(1 - \mu^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (9)$$

Раскроем уравнения Феррерса (3) с учетом соотношений (4), (6) и (5), (7).

В первом случае, обозначая $\lambda_1 = \lambda_1$ и $\lambda_2 = \lambda_2$, получим:

$$M_d - m_1 g h_1 \sin \varphi + \lambda_1 r \cos \varphi - \lambda_2 r \sin \varphi = 0, \quad (10)$$

$$J_2 \ddot{\psi} - m_2 h \ddot{x} \sin \psi = m_2 g h \sin \psi - \lambda_1 \ell \cos \psi - \lambda_2 \ell \sin \psi, \quad (11)$$

$$(m_2 + m_3)\ddot{x} - m_2h(\ddot{\psi} \sin \psi + \dot{\psi}^2 \cos \psi) = -(m_2 + m_3)g + \lambda_2 \quad (12)$$

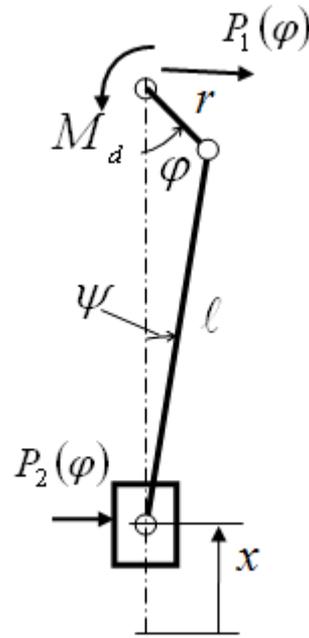


Рисунок 1– Принятая расчетная схема кривошипно-ползунного механизма для определения горизонтальных реакций

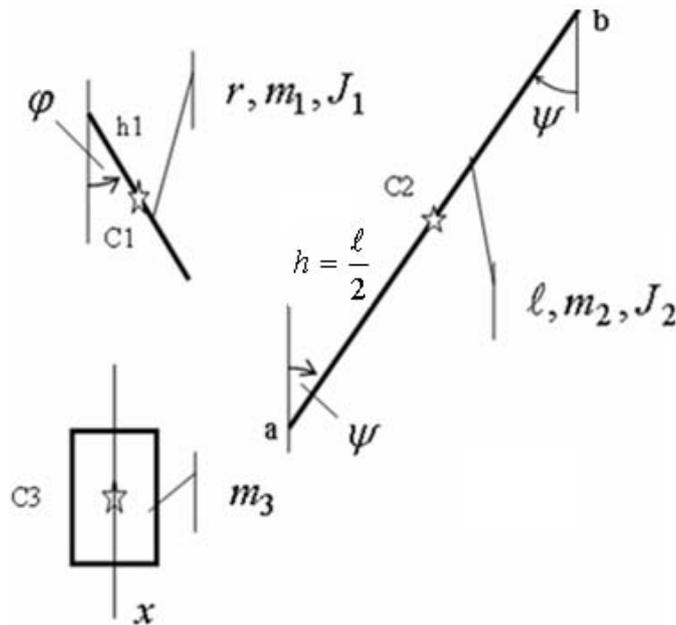


Рисунок 2 – Составные части кривошипно-ползунного механизма: обозначения параметров и обобщенных координат

Во втором случае, обозначая $\lambda_1 = \lambda_3$ и $\lambda_2 = \lambda_4$, получим:

$$-m_2rh\dot{\psi} \cos(\varphi + \psi) + m_2rh\dot{\psi}^2 \sin(\varphi + \psi) = M_d - m_1gh_1 \sin \varphi - m_2gr \sin \varphi + \lambda_3r \cos \varphi - \lambda_4r \sin \varphi; \quad (13)$$

$$J_2\ddot{\psi} + m_2h^2\ddot{\psi} + m_2rh\omega^2 \sin(\varphi + \psi) = -m_2gh \sin \psi - \lambda_3l \cos \psi - \lambda_4l \sin \psi \quad (14)$$

$$m_3\ddot{x} = -m_3g + \lambda_4 \quad (15)$$

Из уравнений (10) - (15) определим множители Лагранжа в виде функций угла поворота кривошипа φ :

$$\lambda_1 = \frac{\mu \sin \varphi (m_2 h \cdot \ddot{x} - \lambda_2 \ell) - J_2 \cdot \ddot{\psi}}{\ell \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi}}, \quad (16)$$

$$\lambda_2 = (m_2 + m_3) \cdot \ddot{x} + (m_2 + m_3) g - m_2 h \left(\mu \sin \varphi \cdot \ddot{\psi} + \omega^2 \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \varphi} \right), \quad (17)$$

$$\lambda_3 = \frac{-J_2 \ddot{\psi} - m_2 h^2 \ddot{\psi} - m_2 r h \omega^2 \sin(\varphi + \psi) - m_2 g h \sin \psi - \lambda_4 \ell \sin \psi}{\ell \cos \psi}, \quad (18)$$

$$\lambda_4 = m_3 \ddot{x} + m_3 g \quad (19)$$

В уравнениях (16) – (19) коэффициент $\mu = \frac{r}{\ell}$, а обобщенная координата $\psi = \arcsin(\mu \cdot \sin \varphi)$.

Множители Лагранжа λ_1 , λ_2 и λ_3 , λ_4 определяют горизонтальные и вертикальные составляющие динамических реакций в шарнирном соединении «кривошип – шатун» и «шатун – ползун», как это показано на рисунках 3 и 4.

При известных множителях Лагранжа расчет горизонтальных составляющих динамических реакций, которые воздействуют на корпус раскройной машины в соединении «кривошип – ротор» и в соединении «ползун – направляющие», производится по формулам:

$$P_1(\varphi) = (\lambda_1 \cdot \sin \varphi + \lambda_2 \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \varphi \quad (20)$$

$$P_2(\varphi) = -\lambda_3 \quad (21)$$

На рисунке 5 приведен фрагмент программы для расчета динамических реакций в системе «корпус – кривошипно-ползунный механизм». Программа написана в среде Mathcad [4]. Результаты расчетов представлены в виде графиков зависимостей горизонтальных составляющих динамических реакций и множителей Лагранжа от угла поворота кривошипа.

Как видно, зависимость горизонтальной составляющей динамических реакций – силы $P_1(\varphi)$ от угла поворота кривошипа является сложной периодической функцией. Для нее характерно чередование пульсирующих импульсов – двух нарастающих и соответствующих ниспадающих противоположного знака. Изменение же горизонтальной составляющей динамических реакций – силы $P_2(\varphi)$ от угла поворота кривошипа происходит по закону, который близок к гармонической зависимости [5].

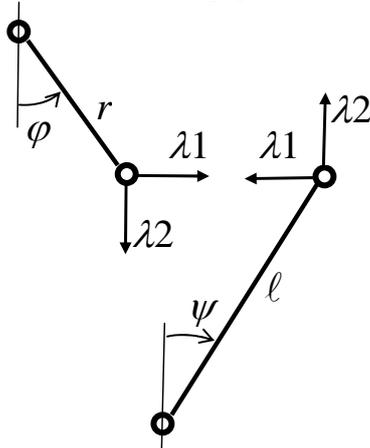


Рисунок 3 – Составляющие динамических реакций в шарнирном соединении «кривошип – шатун»

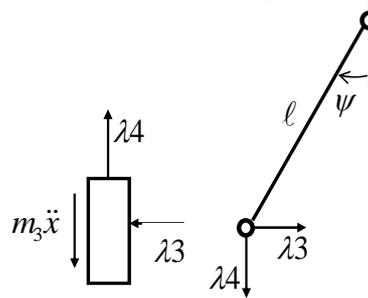


Рисунок 4 – Составляющие динамических реакций в шарнирном соединении «ползун – направляющие»

Исходные данные: $L := 0.106$ $r := 0.03$ $m2 := 0.052$ $m3 := 0.09$ $\omega := 300$

Текст программы: $h := \frac{L}{2}$ $\mu := \frac{r}{L}$ $J2 := \frac{m2 \cdot L^2}{3}$ $cs(\phi) := \sqrt{1 - \mu^2 \cdot \sin(\phi)^2}$

$$\psi w(\phi) := \frac{\omega^2}{\sqrt{1 - \mu^2 \cdot (\sin(\phi))^2}} \cdot \left[-\mu \cdot \sin(\phi) + \frac{\mu^3 \cdot (\cos(\phi))^2 \cdot \sin(\phi)}{1 - \mu^2 \cdot (\sin(\phi))^2} \right] \quad \psi v(\phi) := \frac{\mu \cdot \omega \cdot \cos(\phi)}{cs(\phi)}$$

$$sn(\phi) := \mu \cdot \sin(\phi)$$

$$xw(\phi) := \left[\cos(\phi) + \frac{\mu \cdot \cos(2 \cdot \phi)}{\sqrt{1 - \mu^2 \cdot (\sin(\phi))^2}} + \frac{\mu^3 \cdot (\sin(2 \cdot \phi))^2}{4 \cdot [\sqrt{1 - \mu^2 \cdot (\sin(\phi))^2}]^3} \right] \cdot r \cdot \omega^2 \quad \psi(\phi) := \text{asin}(\mu \cdot \sin(\phi))$$

$$\lambda2(\phi) := (m2 + m3) \cdot 9.81 + (m2 + m3) \cdot xw(\phi) - m2 \cdot h \cdot [\psi w(\phi) \cdot sn(\phi) + (\psi v(\phi))^2 \cdot cs(\phi)]$$

$$\lambda1(\phi) := \frac{1}{L \cdot cs(\phi)} \cdot [-\lambda2(\phi) \cdot L \cdot sn(\phi) - J2 \cdot \psi w(\phi) + m2 \cdot h \cdot (9.81 + xw(\phi)) \cdot sn(\phi)]$$

$$\lambda4(\phi) := m3 \cdot xw(\phi) + m3 \cdot 9.81 \quad cn(\phi) := \cos(\phi + \psi(\phi)) \quad ss(\phi) := \sin(\phi + \psi(\phi))$$

$$\lambda3(\phi) := \frac{-\lambda4(\phi) \cdot L \cdot sn(\phi) - J2 \cdot \psi w(\phi) - m2 \cdot h^2 \cdot \psi w(\phi) - m2 \cdot r \cdot h \cdot \omega^2 \cdot ss(\phi) - m2 \cdot h \cdot 9.81 \cdot sn(\phi)}{L \cdot cs(\phi)}$$

$$R1(\phi) := \lambda1(\phi) \cdot \sin(\phi) \quad R2(\phi) := \lambda2(\phi) \cdot \cos(\phi) \quad P1(\phi) := (R1(\phi) + R2(\phi)) \cdot \sin(\phi) \quad P2(\phi) := -\lambda3(\phi)$$

Рисунок 5 – Фрагмент программы для расчета динамических реакций в системе «корпус – кривошипно-ползунный механизм»

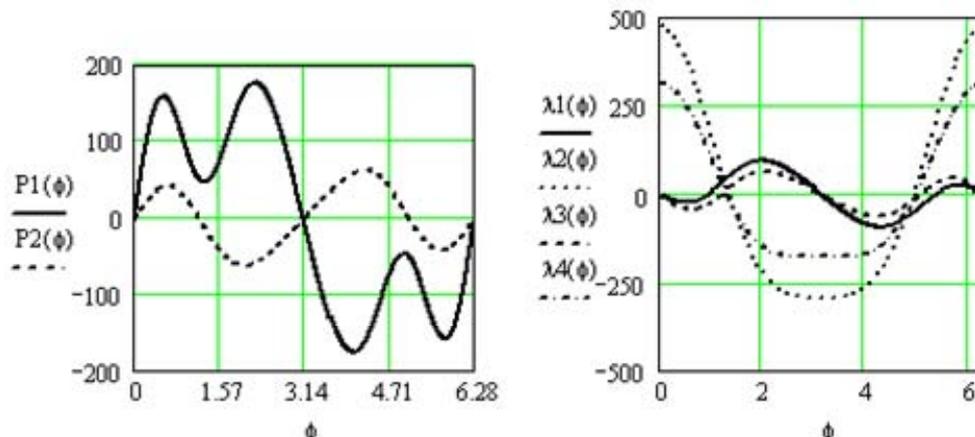


Рисунок 6 – Графики зависимостей горизонтальных составляющих динамических реакций

Вывод.

Интенсивность силового взаимодействия в соединении «кривошип – ротор» на порядок больше интенсивности силового взаимодействия в соединении «ползун – направляющие». Максимальное значение реакции $P_1(\varphi)$ превышает максимальное значение реакции $P_2(\varphi)$ приблизительно в три раза. Исходя из этого, в дальнейших расчетах влиянием горизонтальной составляющей динамических реакций $P_2(\varphi)$ на вибрацию системы «корпус – стойка», будем пренебрегать. Однако данное допущение при определенных условиях может привести к достаточно большой погрешности в расчетах. Необходимо учитывать, что реакция $P_2(\varphi)$ является «подвижной» и генерирует параметрические вибрации, т.е. система может оказаться неустойчивой и возможно возникновение параметрического резонанса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кильчевский, Н. А. Курс теоретической механики. В 2-х т. [Текст] / Н. А. Кильчевский. – М. : Наука, 1977. – 544 с.
2. Быховский, И. И. Основы конструирования вибробезопасных ручных машин [Текст] / И. И. Быховский, Б. Г. Гольдштейн. – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.
3. Вальщиков, Н. П. Расчет и проектирование машин швейного производства [Текст] / Н. П. Вальщиков, Б. А. Зайцев, Ю. Н. Вальщиков. – Л. : Машиностроение, 1972. – 344 с.
4. Дьяконов, В. П. Mathcad 2001 [Текст] : Специальный справочник / В. П. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 832 с.
5. Демидова, Н. А. Расчет динамических реакций, передаваемых на корпус раскройной машины [Текст] / Н. А. Демидова // Вибрационные машины и технологии : в 2 ч. Ч. 2 : Сб. науч. трудов. – Курск : КГТУ. – 2005. – С. 143-147.

Демидова Наталья Александровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Канд. техн. наук, доцент
Тел: (4862) 41-98-27
E-mail: demidova_na@mail.ru

Москина Елена Леонидовна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Канд. техн. наук, доцент
Тел.: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Гущина Галина Дмитриевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Старший преподаватель,
Тел.: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Кондратенко Виктория Александровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант
Тел.: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

N.A. DEMIDOVA, E.L. MOSKINA, G.D. GUSTCHINA, V.A. KONDRATENKO

ADDITIONAL DYNAMIC REACTIONS IN SYSTEM «THE CASE - THE KRIVOSHIPNO-POLZUNNY MECHANISM» RASKROYNA OF THE CAR

Experience of calculation of horizontal components of dynamic reactions in a place in connection «a crank – a rotor» and in connection «polzun – directing»

Keywords: *dynamic reactions, vibration, crank, polzun, rotor*

BIBLIOGRAPHY

1. Kilchevsky N.A. Kurs of theoretical mechanics. B 2-x p. P. 2. – M.: Science, 1977. – 544 p.
2. Bykhovsky I.I., Goldstein B. G. Bases of designing of vibrobezopasny manual cars. – M.: Mechanical engineering, 1982. – 224 p.
3. Valshchikov N. P., Hare B.A., Valshchikov Yu.N. Calculation and design of cars of sewing production. – L.: Mechanical engineering, 1972. – 344 p.
4. Dyakonov V.P. Mathcad 2001: Special directory. – S Petersburg.: Peter, 2002. – 832 p.
5. Demidova N. A. Calculation of the dynamic reactions transferred to the case of the raskroyny car // Vibrating cars and technologies: в 2 p. P. 2: Collection of scientific works. – Kursk: KSTU. – 2005. – P. 143-147.

Demidova Natal`ya Aleksandrovna
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Can. Sc. technical.
Phone: (4862) 41-98-27
E-mail: demidova_na@mail.ru

Moskina Elena Leonidovna
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Can. Sc. technical.,
Phone: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Gushyna Galina D.,
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Phone: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Kondratenko Victoria Aleksandrovna
FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Post-graduate student
Phone: (4862) 55-11-20
E-mail: tikshi@ostu.ru

УДК 664.653.4:664.683.61:612.396.13

В.П. КОРЯЧКИН, Н.П. САПРОНОВА, Б.В. ШИШЕНОК, Е.А. МАКЕЕВ

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕКСОВОГО ТЕСТА И КАЧЕСТВО ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ОЛИГОФРУКТОЗОЙ

В статье представлены результаты изучения влияния внесения олигофруктозы взамен сахара при производстве кексов на реологические свойства теста и физико-химические показатели качества готовых изделий. Применение олигофруктозы способствует улучшению качества продукции.

Ключевые слова: олигофруктоза, вязкость, реологические характеристики, кексовое тесто.

Кондитерские изделия, являются лакомствами и предназначены для того, чтобы своим видом, вкусом, ароматом дарить радость людям и в праздник, и в будни.

Одной из основных задач, стоящей перед предприятиями пищевой промышленности в настоящее время, является целенаправленное создание цивилизованного рынка продуктов лечебно - диетического, профилактического и детского назначения, отвечающих потребностям конкретных групп населения [1]:

- детей различных возрастных групп;
- людей с различными заболеваниями (диабет и др.);
- людей, испытывающих различные физические нагрузки.

Предприятия вырабатывают изделия с пониженным содержанием сахарозы, реализованы технологии производства витаминизированного печенья и группы изделий с бета - каротином и др.

Олигофруктоза — это фруктоолигосахарид, имеет схожее действие с инулином. Также как инулин она не только стимулирует рост бифидобактерий, но и помогает вывести из организма различные эндо- и экзотоксины . Это важно для современного человека, живущего в экологически неблагоприятных условиях окружающей среды. Олигофруктоза улучшает усвоение кальция, магния и железа.

Наряду с непосредственными положительными эффектами (улучшением перистальтики кишечника и состава микрофлоры) олигофруктоза даёт еще целый ряд опосредованных эффектов, обеспечиваемых всасыванием их метаболитов (короткоцепочечных жирных кислот) через стенки кишечника. К таким эффектам относятся: укрепление иммунитета, улучшение усвоения важнейших минералов, прежде всего — кальция и магния, подтвержденное на людях разных возрастных категорий, (включая женщин пожилого возраста, группы высокого риска по остеопорозу), снижение уровня холестерина, триглицеридов крови и даже снижение риска рака кишечника.

Продукты с применением олигофруктозы имеют пониженную калорийность и полезны для здоровья в связи со свойствами олигофруктозы [2].

В работе исследовали влияние олигофруктозы на реологические свойства кексового теста и физико-химические показатели качества кексов.

Реометрию образцов теста, приготовленных по рецептуре кекса «Столичный» проводили с добавлением олигофруктозы с заменой сахара в соответствии с рецептурой в количестве 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 50 % и 100 %.

Олигофруктозу в экспериментальных образцах вносили на стадии приготовления эмульсии. В качестве контроля служил образец теста, приготовленный по традиционной рецептуре кекса «Столичного».

По результатам экспериментов были построены кривые течения $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$ исследуемых образцов кексового теста.

Экспериментальные данные были аппроксимированы реологическим уравнением состояния образцов кексового теста вида [3]:

$$\Theta = kD^n, \quad (1)$$

где Θ – предельное напряжение сдвига, Па,

D – скорость сдвига, 1/с,

k – коэффициент консистенции, Па·сⁿ,

n – индекс течения.

Таблица 1 – Реологические характеристики образцов кексового теста с внесением олигофруктозы

Образцы кексового теста с олигофруктозой, %	Параметры реологического уравнения состояния $\Theta = kD^n$		
	Коэффициент консистенции, k	Индекс течения, n	Величина достоверности аппроксимации, R ²
	Па·с ⁿ	-	-
5	197,6	0,331	0,999
10	275,8	0,575	0,992
15	280,7	0,478	0,928
20	258,3	0,476	0,989
25	228,3	0,476	0,989
50	283,8	0,550	0,970
100	275,8	0,575	0,989

На рисунке 1 представлены графики вязкости образцов кексового теста в зависимости от скорости сдвига при соответствующем содержании в тесте олигофруктозы, полученные расчетным путем по экспериментальным значениям кривых течения $\theta = \theta(D)$

Из рисунка 1 видно, что с увеличением содержания олигофруктозы в кексовом тесте происходит изменение вязкостных свойств теста. При этом тесто с содержанием 20% олигофруктозы обладает оптимальными реологическими характеристиками.

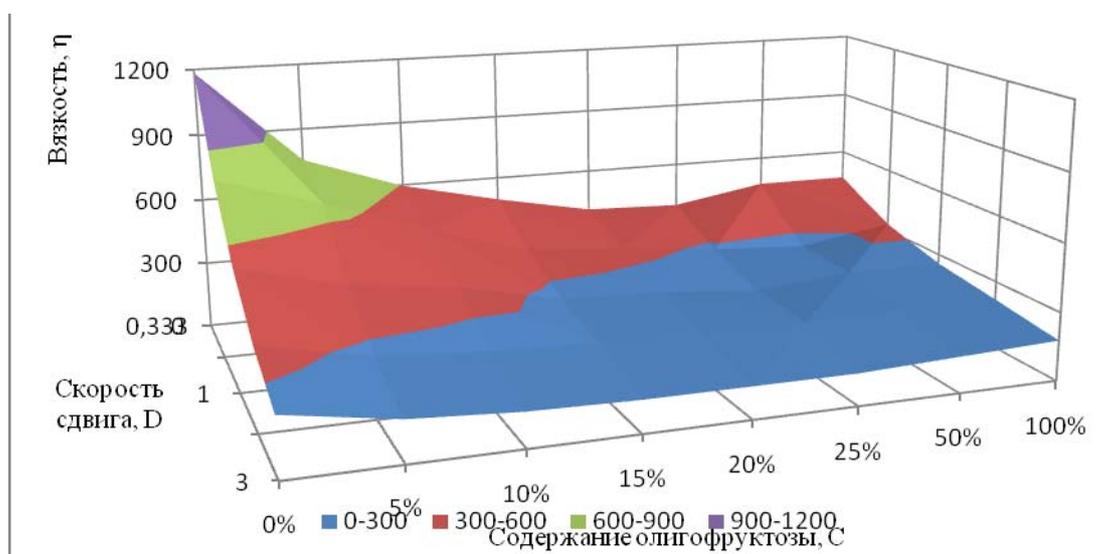


Рисунок 1 - Зависимость вязкости η образцов кексового теста от скорости сдвига D при содержании олигофруктозы C в количестве: 0 (контроль), 5, 10, 15, 20, 25 50, и 100 %

Пробная выпечка опытных образцов показала, что качественные характеристики готовых кексов изменяются от содержания олигофруктозы. В таблице 2 представлены физико –химические показатели готовых изделий, коррелирующие с графиком вязкости кексового теста (рис. 1).

Таблица 2 - Влияние различных дозировок олигофруктозы на качество кексов

Дозировка олигофруктозы, %	Показатели качества							
	Влажность теста, %	Влажность кекса, %	Пористость, %	Удельный объем, см ³ /г	Щелочность, град.	Общая деформация мякиша	Пластическая деформация мякиша	Упругая деформация мякиша
0	24,50	20,7	56,3	165	1,6	76	55	20
5	24,8	20,8	57,02	160	1,6	67	38	17
10	25,0	21,3	57,1	160	1,6	70	53	25
15	25,45	21,85	57,5	181	1,6	73	50	20
20	25,9	22,0	57,85	190	1,6	75	49	19
25	26,3	22,5	58,1	155	1,6	78	55	25
50	26,7	22,85	60,5	145	1,6	75	52	21
100	21	18,6	73,69	165	1,6	70	48	17

На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости пористости кексов от дозировок олигофруктозы.

Из рисунка видно, что с увеличением дозировки олигофруктозы пористость постепенно повышается. В контрольном образце данный показатель равен 66,7 %, при внесении 5; 10 и 15 % олигофруктозы пористость увеличивается на 0,22; 0,49 и 1,68 % соответственно. При дозировках олигофруктозы 20; 25; 50 и 100 % пористость увеличивается на 2,8; 3,52; 7,79 и 10,46 %.

На рисунке 3 представлена диаграмма зависимости удельного объема кексов от дозировок олигофруктозы.

При внесении 5; 10; 15; 20 и 25 % олигофруктозы происходит снижение удельного объема на 13,12; 10,5; 7,37; 2,36 и 7,89 %. Далее происходит снижение удельного объема еще в большей степени по сравнению с контрольным образцом - при внесении 50 % и 100 % олигофруктозы на 21,05 и 13,16 % соответственно.

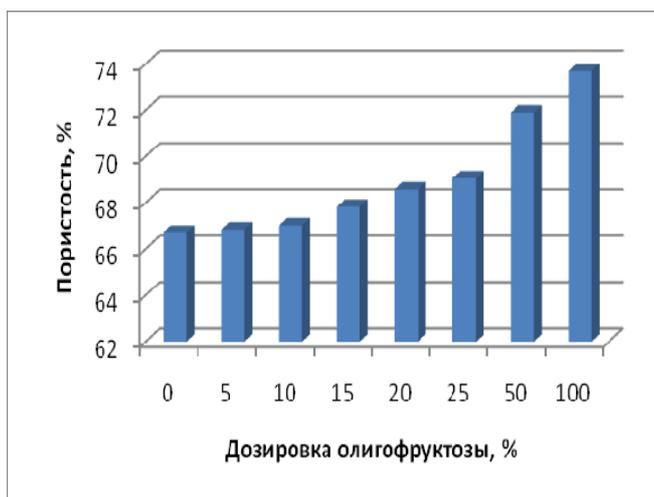


Рисунок 2 – Влияние различных дозировок олигофруктозы на пористость кексов

По реологическим характеристикам теста и физико-химическим показателям качества кексов оптимальной выбрана дозировка 20 % олигофруктозы взамен сахара в технологии кексов.

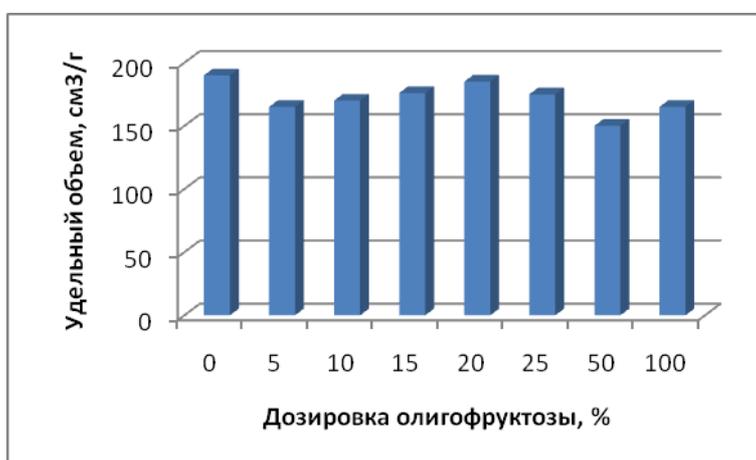


Рисунок 3 – График влияния различных дозировок олигофруктозы на удельный объем кексов



Рисунок 4 – Кексы с внесением 20 % олигофруктозы

Образец с внесением 20 % олигофруктозы, исходя из результатов органолептической оценки, обладает наилучшими показателями качества по сравнению с контрольным образцом: правильной формой, равномерной толщиной, равномерной и хорошо развитой тонкостенной пористостью, приятным, ярко выраженным вкусом и ароматом. Цвет такого

изделия равномерный от оранжево – желтого до коричневого. Суммарная балльная оценка органолептических показателей данного образца наивысшая – 24,5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красина, И. Б. Научно-практические аспекты обоснования технологий мучных кондитерских изделий функционального назначения [Текст] / И. Б. Красина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 5-6. – С. 102-105.
2. Перковец, М. В. Инулин и олигофруктоза – пребиотики с древних времен до наших дней [Текст] / М. В. Перковец // Пищевая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 56.
3. Реометрия пищевого сырья и продуктов [Текст] / Под ред. Ю. А. Мачихина. – М. : ВО Агропромиздат, 1990. – 189 с.

Корячкин Владимир Петрович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»
Тел. (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

Сапронова Наталия Петровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства»
Тел. (4862) 55 11 87; 8 920 828 90 43
E-mail: natkasap888@mail.ru

Шишенок Борис Владимирович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Студент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»
Тел. (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

Макеев Евгений Александрович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Студент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»
Тел. (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

V.P. KORYACHKIN, N.P. SAPRONOVA, B.V. SHISHENOK, E.A. MAKEEV

RHEOLOGICAL PROPERTIES KEKSOVOGO DOUGH AND THE QUALITY FINISHED PRODUCTS WITH OLIGOFRUCTOSE

The paper presents results on the effect of oligofructose instead of making sugar in the production of cakes on the rheological properties of dough and physico-chemical quality of finished products. The use of oligofructose improves the quality of products.

Keywords: *oligofructose, viscosity, rheology, dough cakes.*

BIBLIOGRAPHY

1. Krasina I. B. Scientifically – practical aspects of justification of technologies of flour confectionery of a functional purpose [Text] / I. B. Krasina // Trans. Food technology. – 2007. – No. 5-6. – P. 102-105.
2. Perkovets M.V. Inulin and oligofructose - prebiotics from ancient times to the present day [text] / MV Perkovets // Food Processing. - 2007. - № 4. - P. 56.
3. Rheometry of food raw materials and products [Text]/ Ed. Y.A. Machikhina. - M: TO Agropromizdat, 1990. - 189 p.

Koryachkin Vladimir Petrovitch

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Doctor of Engineering, professor, head of the department of «Cars and devices of food productions»
Phone (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

Sapronova Natalya Petrovna

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Post-graduate student of the department of «Technology of bread, confectionary and macaroni production»
Phone (4862) 55 11 87
E-mail: natkasap888@mail.ru

Shishenok Boris Vladimirovich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Student of the department of «Cars and devices of food productions»
Phone (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

Makeev Evgeny Aleksandrovich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Student of the department of «Cars and devices of food productions»
Phone (4862) 55 11 87
E-mail: mapp@ostu.ru

М.Н. ЛАВРУХИНА, Н.А. СПОСЛОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ЭЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследованы упруго-эластические свойства текстильных полотен различных структур, растяжимость тканей с вложением полиуретановых волокон по стрейч-фактору. Изучены изменения свойств полотен при комплексном воздействии физико-механических и температурных факторов. Приведены результаты экспериментальных оценок, графические зависимости.

Ключевые слова: текстильные полотна, растяжимость тканей, полиуретановые волокна, стрейчфактор, свойства полотен.

Швейная промышленность сегодня использует текстильные полотна с различной степенью растяжимости. Степень растяжимости влияет на выбор модели изделия, конструкторско – технологические решения и режимы обработки изделия. Тем не менее информации по оценке растяжимости современных текстильных материалов крайне недостаточно.

Целью работы была оценка растяжимости 3 основных видов текстильных структур, используемых в швейной промышленности: ткани, трикотажные полотна и нетканые полотна, а также тканей с вложением полиуретановых волокон.

Для испытания были отобраны следующие образцы:

1 образец: трикотажное полотно, главное кулирное двойное, ластик 1 – 1, в составе нить комплексная полиэфирная;

2 образец: ткань, по основе и утку волокно хлопка полотняного переплетения, пряжа гребенная;

3 образец: нетканое полотно нитепрошивное, формирующие структуру нити - комплексные полиэфирные.

Для оценки растяжимости полотен была изучена зависимость нагрузки от относительного удлинения. Результаты работы представлены в виде графических зависимостей (рис. 1).

Для образца 1(трикотажное полотно): при испытании вдоль полотна точка разрыва была фиксирована при удлинении 80% и нагрузке 0,31 кН; при испытании поперёк – точка разрыва была найдена при удлинении 157% и нагрузке 0,07 кН. Для образца 2 (ткань полотняного переплетения): при испытании основы точка разрыва фиксирована при удлинении 45% и нагрузке 0,65 кН; при испытании утка – точка разрыва при удлинении 40% нагрузке 0,47 кН. Для образца 3 (нетканое полотно): при испытании вдоль полотна точка разрыва фиксирована при удлинении 65% и нагрузке 0,15 кН; поперёк – удлинение 66% и нагрузка 0,35 кН.

Очевидно, что нетканое полотно занимает промежуточное положение между трикотажным полотном и тканью. Тем не менее, механизм деформирования полотен различен: в трикотажных полотнах растяжимость обусловлена перетягиванием петель вдоль рядов и столбиков, в тканях – за счёт деформирования волокон и нитей, в нетканых нитепрошивных полотнах в нашем случае реализовано оба механизма.

Были проведены испытания двух образцов тканей с вложением полиуретановых волокон и определён стрейч – фактор по основе, утку и под углом 45° к нитям основы:

4 образец: ткань атласного переплетения, по основе – пряжа хлопчатобумажная кардная, по утку – нить армированная хлопка – полиуретановая (лайкра);

5 образец: ткань атласного переплетения, по основе – нить комплексная, по утку – нить армированная лавсано– полиуретановая (лайкра).

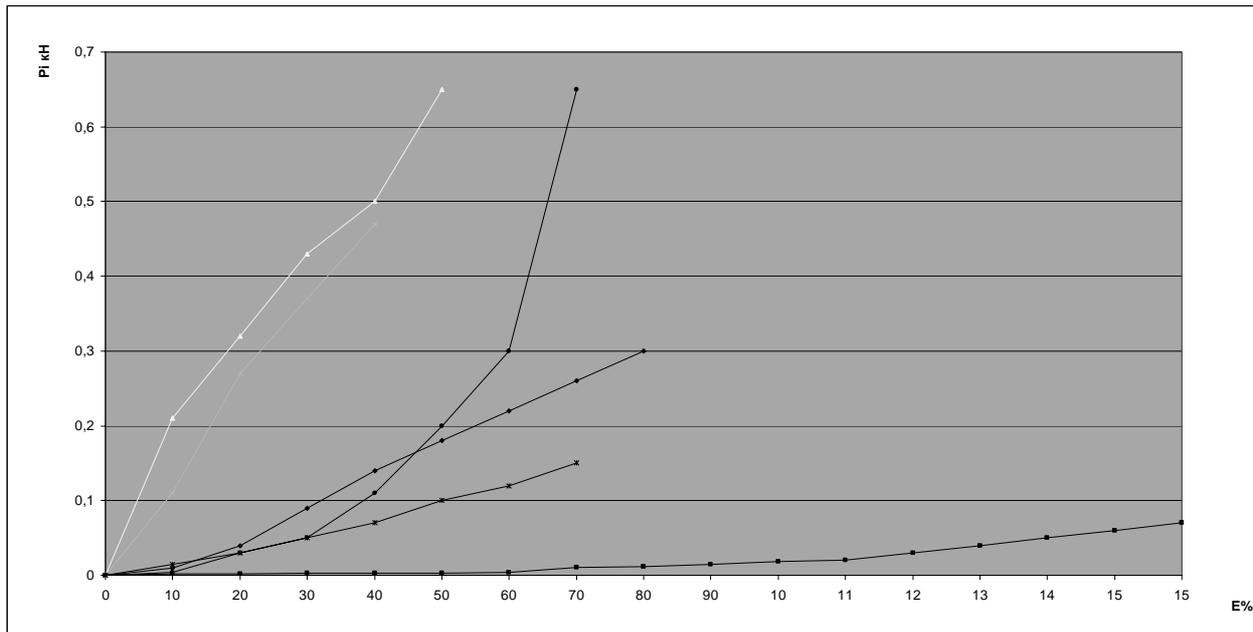


Рисунок 1 – Динамика растяжения текстильных полотен

Для оценки показателя стрейч-фактора использована графическая зависимость нагрузка – относительное удлинение. Испытания проведены на разрывной машине ИР 5074 – 3. Элементарная проба растягивалась со скоростью 100мм/мин. При деформировании пробы на 5% отмечалась нагрузка (Pi). Графические зависимости для отобранных образцов тканей приведены на рисунке 2.

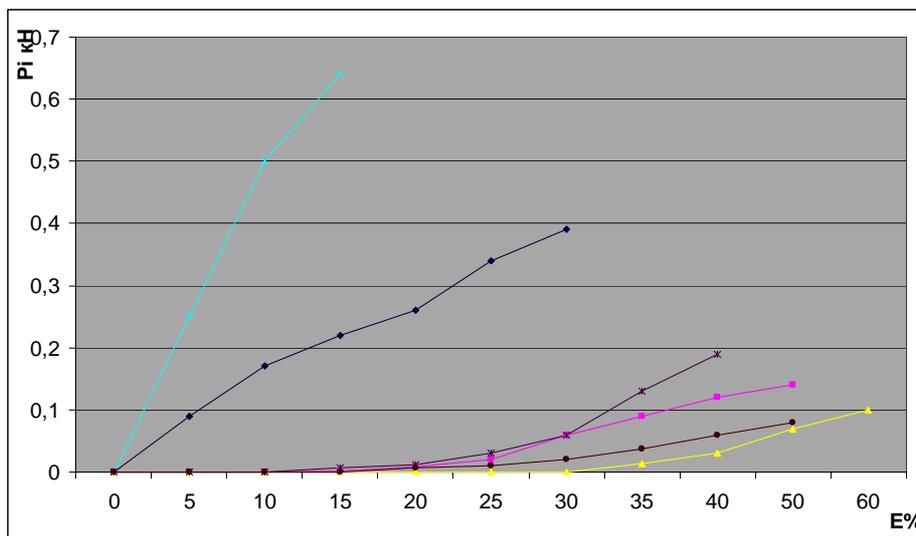


Рисунок 2 – Оценка стрейч – фактора тканей

Результаты испытаний показывают высокие значения относительных разрывных удлинений для двух тканей и различных направлений испытаний. Обращает на себя внимание высокое разрывное удлинение по основе и утку и под углом 45 градусов для образца 1, содержащего волокно хлопка не менее 95%, что значительно выше типовых хлопчатобумажных тканей этой группы. Здесь прослеживается влияние вложения полиуретана в уточную систему.

Понятие стрейч-фактор (sf) используют для описания процессов удлинения текстильных материалов в направлении приложения растягивающих усилий, при этом sf – это удлинение материала без роста растягивающей нагрузки. Принято считать, что если значение sf более десяти процентов, то в конструкцию вводится поправка на его значение, если значение sf менее десяти процентов, то расчет конструкции производится традиционными методами.

По результатам испытаний значение стрейч – фактора составляет более 10% для всех образцов, что необходимо учитывать при построении конструкции.

Необходимо отметить, что в научно-техническом поиске практически не выявлены какие-либо данные по оценке стрейч-фактора как для тканей, так и для трикотажных полотен. Не описаны методы конструирования изделий с учетом этого показателя, а также методики лабораторных экспериментов. Не представляется возможным прогнозировать поведение тканей с вложением полиуретановых волокон, необходимы дополнительные исследования, т.к. процесс деформирования зависит от многих факторов и отличается от типичного поведения тканей.

Практический интерес представляет изменение упругоэластических свойств текстильных материалов под действием температур, деформации растяжения, изгиба, определение которых были проведены для образца 4, 5 (рис. 3,4). В эксперименте по стандартным методикам определялись разрывная нагрузка, удлинение, несминаемость, а также стрейч – фактор.

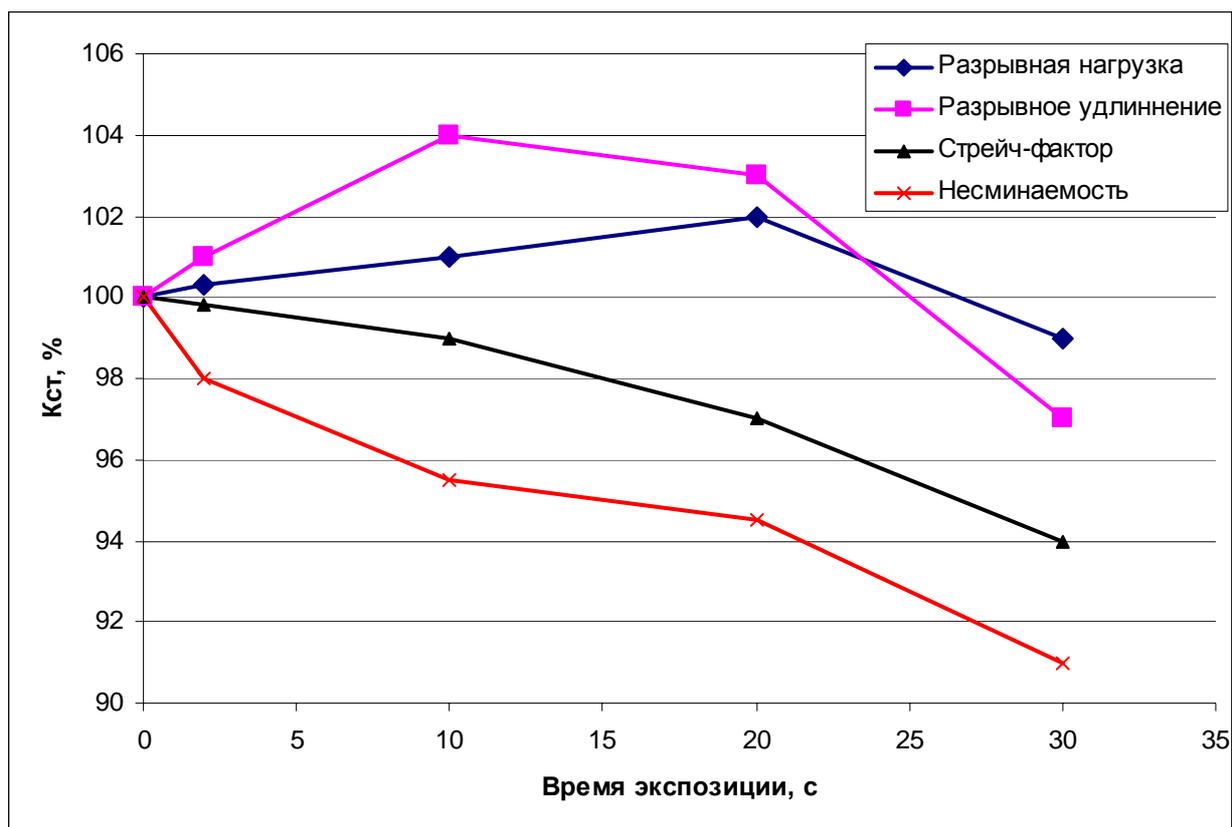


Рисунок 3 – Кинетика изменения физико-механических показателей утка для образца 4

Результаты свидетельствуют, что первые две минуты эксперимента для образца 4,5 показатели свойств практически не изменяются, в процессе швейной переработки материалов ухудшение свойств не происходит. Дальнейший эксперимент приводит к изменению показателя стойкости. Эти изменения наиболее проявляются в образце 5, где после 40 минут отмечены видимые изменения структуры полотна в виде слабину и

некоторого повреждения нитей, и для этих образцов определение показателей и дальнейшие испытания не проводились. Наилучшие результаты отмечены для образца 4, в котором после 50 минут нагревания падение численных значений показателей составило 12%, что обуславливается в первую очередь высокой термостойкостью хлопкового волокна.

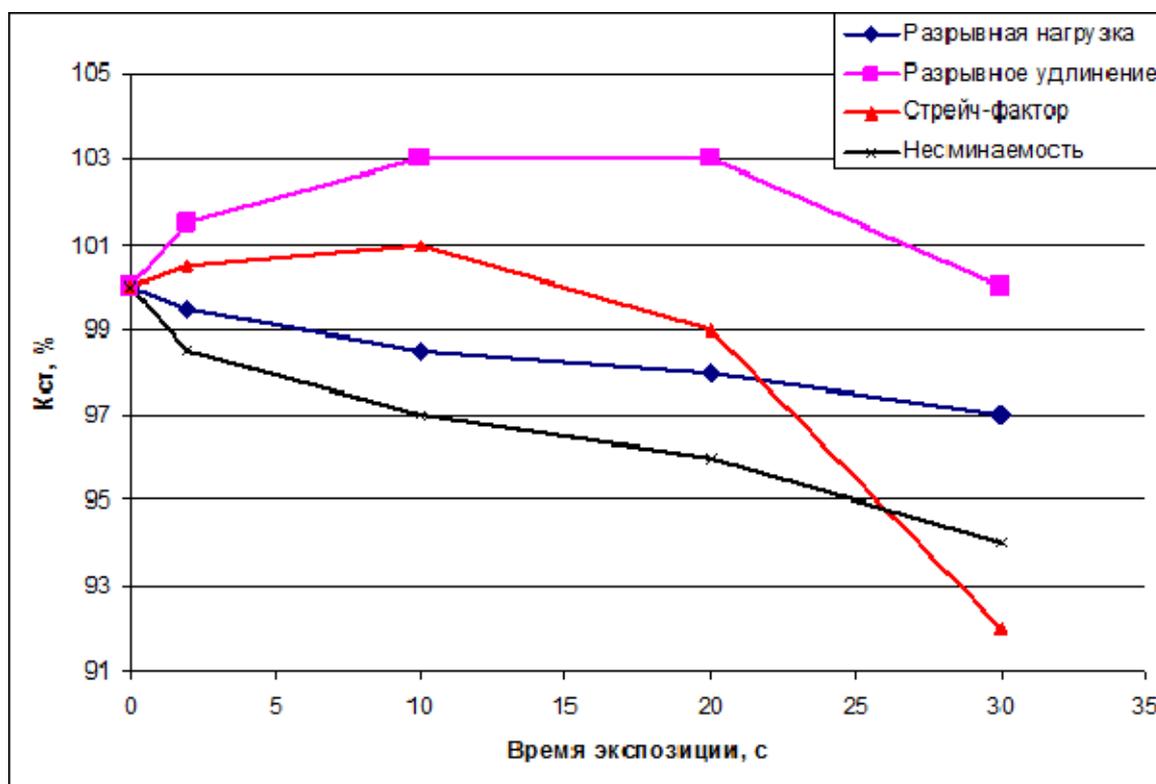


Рисунок 4 - Кинетика изменения физико-механических показателей утка для образца 5

Полученные результаты показывают ухудшение показателей свойств образцов с вложением полиуретановых волокон. Их низкая термостойкость оказывает влияние на структуру системы нитей, переплетений, ухудшая свойства материала в целом. Поэтому, по нашему мнению, при разработке одежды из высокоэластичных современных тканей необходима более тщательная отработка моделей, предпочтительно простых силуэтных и конструктивных решений, что позволило бы избежать тщательной утюжки этих изделий в процессе носки. Предпочтение следует отдавать поясным изделиям (юбки, брюки) с высокой степенью облегания, что позволяет реализовать стрейчевый эффект материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, Б. А. *Материаловедение швейного производства* [Текст] / Б. А. Бузов. – М.: Академия, 2004 - 400 с.
2. Бузов, Б. А. *Практикум по материаловедению швейного производства* [Текст] / Б. А. Бузов. – М. : Академия, 2003 – 416 с.
3. Матвеева, О. В. *Прогнозирование длительности конструкторской подготовки производства новых изделий* [Текст] / О. В. Матвеева. – М. : Швейная промышленность, 2004. – № 6.

Лаврухина Мария Николаевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл

Студент кафедры ТекШИ

E-mail: tikshi@ostu.ru

Срослова Наталия Александровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл

Студент кафедры ТiKШИ

E-mail: tikshi@ostu.ru

M.N. LAVRUHINA, N.A. SROSLOVA

STUDY OF ELASTIC PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS

Researched Elasto-elastic properties of textile fabrics of various structures. Tensile properties of polyurethane fiber fabrics with an attachment to strejčfaktoru. Reviewed by changing properties of cloths in integrated effects of physico-mechanical and temperature factors. The results of pilot assessments, and graphical dependencies.

Keywords: *textile fabrics, tensile properties of fabrics, polyurethane fiber, strejčfaktor, properties of cloths.*

BIBLIOGRAPHY

1. B.A. Buzov, Material Science in Clothing Manufacture.- Publishing Center “Academy”, pp. 448, 2004.
2. B.A. Buzov, Training in Clothing Manufacture Material Science.- Publishing Center “Academy”, pp. 416, 2003.
3. O.V. Matveyeva, Forecasting duration of design preparation for new goods production.- “Clothing Industry”, №6, 2004.

Lavrukhina Maria Nikolaevna

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Student of dep. TiKSHI

E-mail: tikshi@ostu.ru

Sroslova Natalia Aleksandrovna

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Student of dep. TiKSHI

E-mail: tikshi@ostu.ru

ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 681.3

А.Д. ИВАНОВ

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ СЕКТОРА ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В ИНТЕРНЕТ

В настоящее время широкополосный Интернет вытесняет остальные виды доступа в Интернет. В связи с постоянно увеличивающейся аудиторией пользователей сети Интернет необходимо увеличение числа квалифицированных экспертов, способных диагностировать и выявлять пути устранения проблемы, связанной с доступом в Интернет.

***Ключевые слова:** экспертная система, обучение экспертов, повышение уровня знаний экспертов, разработка экспертной системы.*

В настоящее время представить жизнь без Интернета практически не возможно. Интернет используются во всех сферах жизни. Подключиться к Интернету можно через спутники связи, радиоканалы, кабельное телевидение, телефон, сотовую связь, специальные оптоволоконные линии или электропровода. Всемирная сеть стала неотъемлемой частью жизни в развитых и развивающихся странах.

Широкополосный или высокоскоростной доступ в Интернет означает доступ в Интернет с большой скоростью, в противоположность коммутируемому доступу с использованием модема и телефонной сети общего пользования.

Если коммутируемый доступ имеет ограничение по скорости порядка 56 кбит/с и полностью занимает телефонную линию, то широкополосные технологии обеспечивают во много раз большую скорость обмена данными и не монополизируют телефонную линию. Кроме высокой скорости, широкополосный доступ обеспечивает непрерывное подключение к Интернету и так называемую “двухстороннюю” связь, т.е. возможность как принимать, так и передавать информацию на высоких скоростях.

Широкополосный Интернет вытесняет остальные виды доступа в Интернет. В связи с постоянно увеличивающейся аудиторией пользователей сети Интернет необходимо увеличение числа квалифицированных экспертов, способных диагностировать и выявлять пути устранения проблемы, связанной с доступом в Интернет.

Для обучения и повышения уровня знаний экспертов было решено разработать автоматизированную обучающую систему. Система обобщает имеющийся опыт по диагностике и устранению проблем с доступом в Интернет, работая в интерактивном режиме, способствует ускорению обучения экспертов поиску причин неисправностей и наиболее эффективным способам их устранения. Для разработки подобной системы целесообразно использовать нестандартный метод накопления и передачи знаний.

Самым распространенным и прогрессирующим методом накопления и передачи знаний являются экспертные системы.

Экспертные системы (ЭС) — это сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие этот эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей.

Разработка ЭС имеет существенные отличия от разработки обычного программного продукта. Опыт создания ЭС показал, что использование при их разработке методологии, принятой в традиционном программировании, либо чрезмерно затягивает процесс создания ЭС, либо вообще приводит к отрицательному результату. Использовать ЭС следует только

тогда, когда разработка ЭС возможна, оправдана и методы инженерии знаний соответствуют решаемой задаче. Чтобы разработка ЭС была возможной для данного приложения, необходимо одновременное выполнение по крайней мере следующих требований:

1) существуют эксперты в данной области, которые решают задачу значительно лучше, чем начинающие специалисты;

2) эксперты сходятся в оценке предлагаемого решения, иначе нельзя будет оценить качество разработанной ЭС;

3) эксперты способны вербализовать (выразить на естественном языке) и объяснить используемые ими методы, в противном случае трудно рассчитывать на то, что знания экспертов будут "извлечены" и вложены в ЭС;

4) решение задачи требует только рассуждений, а не действий;

5) задача не должна быть слишком трудной (т.е. ее решение должно занимать у эксперта несколько часов или дней, а не недель);

6) задача хотя и не должна быть выражена в формальном виде, но все же должна относиться к достаточно "понятной" и структурированной области, т.е. должны быть выделены основные понятия, отношения и известные (хотя бы эксперту) способы получения решения задачи;

7) решение задачи не должно в значительной степени использовать "здравый смысл" (т.е. широкий спектр общих сведений о мире и о способе его функционирования, которые знает и умеет использовать любой нормальный человек), так как подобные знания пока не удастся (в достаточном количестве) вложить в системы искусственного интеллекта.

Использование ЭС в данном приложении может быть возможно, но не оправдано.

Применение ЭС может быть оправдано одним из следующих факторов:

– решение задачи принесет значительный эффект, например экономический;

– использование человека-эксперта невозможно либо из-за недостаточного количества экспертов, либо из-за необходимости выполнять экспертизу одновременно в различных местах;

– использование ЭС целесообразно в тех случаях, когда при передаче информации эксперту происходит недопустимая потеря времени или информации;

– использование ЭС целесообразно при необходимости решать задачу в окружении, враждебном для человека.

Приложение соответствует методам ЭС, если решаемая задача обладает совокупностью следующих характеристик:

1) задача может быть естественным образом решена посредством манипуляции с символами (т.е. с помощью символических рассуждений), а не манипуляций с числами, как принято в математических методах и в традиционном программировании;

2) задача должна иметь эвристическую, а не алгоритмическую природу, т.е. ее решение должно требовать применения эвристических правил. Задачи, которые могут быть гарантированно решены (с соблюдением заданных ограничений) с помощью некоторых формальных процедур, не подходят для применения ЭС;

3) задача должна быть достаточно сложна, чтобы оправдать затраты на разработку ЭС. Однако она не должна быть чрезмерно сложной (решение занимает у эксперта часы, а не недели), чтобы ЭС могла ее решать;

4) задача должна быть достаточно узкой, чтобы решаться методами ЭС, и практически значимой.

Таким образом, разработка ЭС для обучения и повышения квалификации сотрудников сектора широкополосного доступа в Интернет возможна, т.к. выполняются все выше перечисленные требования. Разработка такой ЭС оправдана тем, что существенно сократятся расходы при обучении новых специалистов, и уменьшится количество людей-экспертов, занимающихся консультированием менее квалифицированных специалистов, а не диагностикой и решением проблем с доступом в Интернет. Кроме того, создание ЭС позволит выполнять экспертизу одновременно в различных местах, т.е. создавать центры технической поддержки в различных городах.

Для решения поставленной задачи была создана автоматизированная обучающая система на базе метода экспертных систем.

Большое значение при выборе способа реализации автоматизированной обучающей системы имеет выбор наиболее подходящего алгоритма.

При реализации автоматизированной обучающей системы используются вполне определенные алгоритмические подходы, диктуемые методикой проведения учебного занятия. Обычно любая обучающая система представляет собой совокупность порций информации, называемой слайдами, которые в той или иной форме предъявляются обучаемому. Современная вычислительная техника обладает широкими функциональными возможностями и позволяет использовать в слайдах информацию, представленную в виде обычного текста, графического изображения, аудио и видео фрагментов. При этом в слайдах можно сосредоточить все средства представления информации, существующие в настоящее время для повышения эффективности учебного процесса.

Для реализации автоматизированной обучающей системы по диагностике и устранению проблем с доступом в Интернет был использован направленный алгоритм (рис. 1).

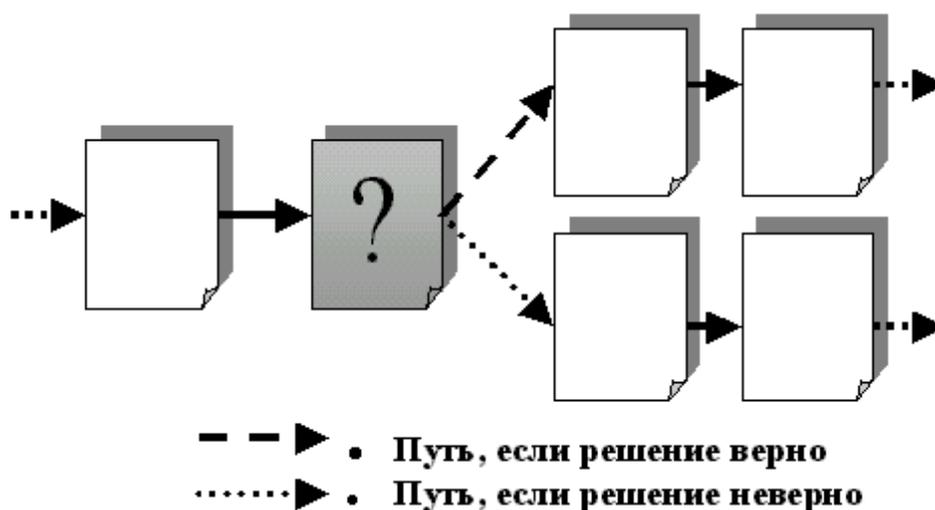


Рисунок 1 – Схема направленного алгоритма

Направленные алгоритмы предполагают наличие слайдов выбора, однако в зависимости от принятого решения учащимся выбирается та или иная последовательность и возврата обратно не предполагается.

Главным отличием метода экспертных систем, является возможность не закладывать априори последовательность шагов обучения, так как она строится самой системой в процессе ее функционирования, что и позволяет строить наиболее приспособляющиеся к обучаемому и предмету обучения системы.

Большинство ЭС включают знания, по содержанию которых их можно отнести одновременно к нескольким типам. Разработанная система помимо системы поддержки принятия решений может быть отнесена к системе диагностики и системе обучения.

Под диагностикой понимается процесс соотнесения объекта с некоторым классом объектов или обнаружение неисправности в некоторой системе. Неисправность — это отклонение от нормы. Такая трактовка позволяет с единых теоретических позиций рассматривать и неисправность оборудования в технических системах и заболевания живых организмов, и всевозможные природные аномалии. Важной спецификой является здесь необходимость понимания функциональной структуры диагностирующей системы. Применительно к данной системе неисправностью является проблемы с доступом в Интернет. Обучение экспертов диагностике такого рода неисправностей является основной задачей разработанной системы.

Поддержка принятия решения — это совокупность процедур, обеспечивающая лицо, принимающее решения, необходимой информацией и рекомендациями, облегчающими

процесс принятия решения. Эти ЭС помогают специалистам выбрать или сформировать нужную альтернативу среди множества выборов при принятии ответственных решений. Разработанная автоматизированная система помогает пользователю в процессе диагностики принимать решения по выбору возможных причин неисправности, а также методам их устранения.

По техническому заданию разрабатываемая ЭС должна работать на персональных ЭВМ автономно (без интеграции с другими прикладными программами). Так как исследуемая предметная область стабильна во времени, то по связям с реальным временем имеем статическую структуру.

Ядром ЭС для обучения и повышения квалификации сотрудников сектора широкополосного доступа в Интернет является база знаний, охватывающая проблемы широкополосного доступа в сети, работающей по технологии DOCSIS, и способы их решения. В результате был проведен анализ причин возникновения проблем с доступом в Интернет и выполнено структурирование знаний данной задачи.

Причины возникновения проблем с доступом в Интернет можно разделить на 3 группы: Аппаратный сбой, программный сбой со стороны поставщика услуг доступа в Интернет и программный сбой со стороны абонента.

К аппаратному сбою относится выход из строя или не корректная работа оборудования:

1. Выход из строя или не корректная работа модема
2. Выход из строя абонентской кабельной разводки
3. Выход из строя абонентского отвода
4. Выход из строя или не корректная работа оборудования, соединенного с модемом

Под выходом из строя или не корректной работой модема понимается выход из строя модема или блока питания модема, а так же не корректная работа модема по приему или отправке сигнала (потеря сигналов).

Под абонентской кабельной разводкой понимается совокупность кабелей, находящихся внутри квартиры абонента. К выходу из строя или не корректной работе абонентской кабельной разводки может привести физическое повреждение кабеля, не плотное соединение кабеля с модемом или сплиттером или не плотное обжатие кабеля.

Под абонентским отводом понимается совокупность кабелей и оборудования, к которому присоединяется абонентская кабельная разводка. К выходу из строя или не корректной работе абонентского отвода может привести физическое повреждение кабелей, не плотное соединение кабеля с абонентской разводкой, не плотное обжатие кабеля, а так же выход из строя или не корректная работа оборудования, с помощью которого происходит раздача Интернета (выход оборудования из строя или потеря сигнала оборудованием).

К программному сбою со стороны поставщика услуг доступа в Интернет относятся:

1. Не корректная работа DHCP серверов
2. Не корректная работа DNS серверов

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol — протокол динамической конфигурации узла) — это сетевой протокол, позволяющий компьютерам автоматически получать IP-адрес и другие параметры, необходимые для работы в сети TCP/IP. Данный протокол работает по модели «клиент-сервер». Для автоматической конфигурации компьютер-клиент на этапе конфигурации сетевого устройства обращается к т. н. серверу DHCP, и получает от него нужные параметры. Это позволяет избежать ручной настройки компьютеров сети и уменьшает количество ошибок. Протокол DHCP используется в большинстве крупных (и не очень) сетей TCP/IP.

Под не корректной работой DHCP серверов понимается неверная идентификация сервером оборудования абонента, вследствие чего оборудование абонента не получает или получает не верные настройки, необходимые для работы в сети.

DNS (Domain Name System — система доменных имён) — компьютерная распределённая система для получения информации о доменах. Чаще всего используется для получения IP-адреса по имени хоста (компьютера или устройства).

Под не корректной работой DNS серверов понимается не корректное преобразование имени хоста в IP адрес, из-за чего отсутствует доступ на хосты, входящие в область действия DNS сервера.

Самая распространенная причина отсутствия доступа в Интернет – программный сбой со стороны абонента.

К программному сбою со стороны абонента относятся:

1. Отсутствие или не корректная работа драйверов на сетевые устройства
2. Не корректная работа DHCP клиента
3. Не корректная работа DNS клиента
4. Не корректная работа защитного программного обеспечения
5. Не корректная работа браузера
6. Не корректная работа операционной системы

При отсутствии или не корректной работе драйверов на сетевые устройства компьютер абонента либо не опознает сетевое устройство, либо компьютер абонента получает неверные настройки для работы в сети Интернет.

При не корректной работе DHCP клиента с компьютера абонента не производится или производится некорректный запрос на получение настроек для работы в сети, вследствие чего компьютер абонента не получает верных настроек для работы в сети Интернет.

При не корректной работе DNS клиента на компьютере происходит не корректное преобразование имени хоста в IP адрес и данные хосты не открываются.

При не корректной работе защитного ПО блокируются DNS или DHCP запросы, что приводит к некорректной работе DNS или DHCP клиентов. Так же защитное ПО может блокировать порты по которым идет работа в сети Интернет или блокировать доступ к определенным хостам.

При не корректной работе браузера могут не открываться хосты, или не работать протоколы, по которым идет доступ к хостам.

При не корректной работе ОС может возникнуть любая из выше перечисленных проблем с доступом в Интернет. Наиболее частой причиной не корректной работы ОС является наличие вируса.

Для реализации программы была разработана концептуальная схема экспертной системы (рис. 2).

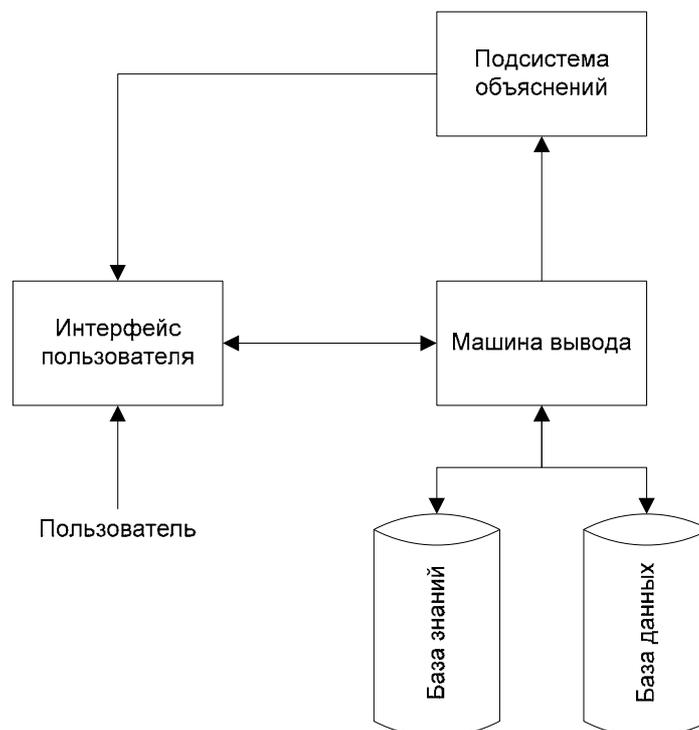


Рисунок 2 – Концептуальная схема экспертной системы

Программа реализована методом конечных автоматов. База знаний ЭС реализована с помощью базы данных Microsoft Access. ЭС запрограммирована с помощью языка высокого уровня Delphi, взаимосвязь с базой данных происходит с помощью технологии ADO и языка запросов SQL. При запуске программы на экран выводится первый слайд выбора, содержащий вопрос, поясняющее сообщение и варианты ответа. В зависимости от варианта ответа по таблице переходов автомат переходит в следующее состояние. Так продолжается до тех пор, пока не пройдены все шаги, необходимые для выявления неисправности. В конце диагностики программа выводит на экран информационное сообщение, в котором содержится суть неисправности, и предлагаются пути ее устранения.

На основе полученных данных и разработанной структуры была реализована программа, являющаяся прототипом ЭС. Работа программы осуществляется с помощью выведения на экран слайда выбора, содержащего вопрос и два или более вариантов ответа, и в зависимости от ответа на вопрос выводится следующий слайд (рис. 3).

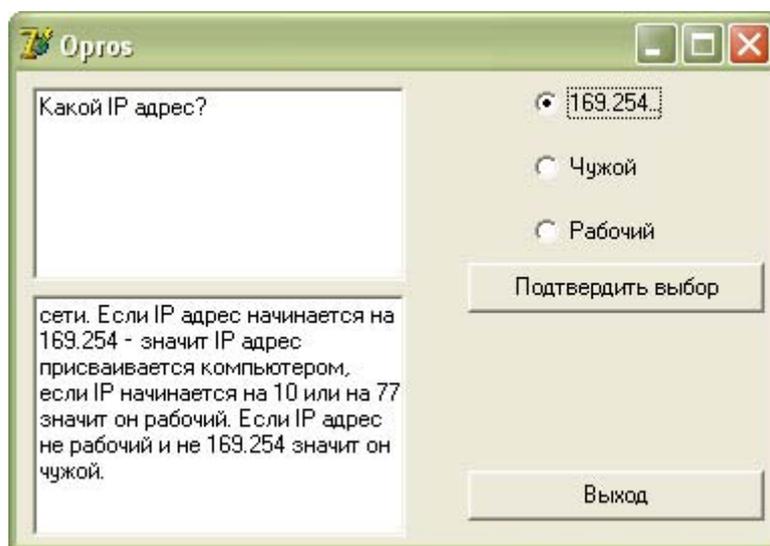


Рисунок 3 – Окно с обучающим материалом

Слайды выбора выводятся до того момента, пока диагностика не будет закончена. После окончания диагностики выводится информативный слайд, в котором содержится описание причины отсутствия доступа в Интернет и рекомендации по ее устранению.

В окне с обучающим материалом присутствуют поля с вопросом и пояснениями, переключатели для выбора ответа и кнопка для подтверждения варианта ответа.

В ходе данной работы были проанализированы причины отсутствия доступа в Интернет и выбран оптимальный вариант для реализации поставленной задачи. В результате работы был разработан алгоритм работы программы и разработана программа, позволяющая автоматизировать процесс обучения и повышения квалификации экспертов сектора широкополосного доступа в Интернет.

Данная программа может использоваться действующими сотрудниками как подсказка, в ситуациях, когда сотрудник затрудняется с диагностикой возникшей проблемы. Так же система позволяет обучить новых сотрудников диагностике причин отсутствия доступ в Интернет. В настоящее время программа готовится к применению в организации ЗАО "Акадо-столица".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Культин, Н. Б. Delphi 6. Программирование на object pascal [Текст] / Н. Б. Культин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 526 с.
2. Нейлор, К. Как построить свою экспертную систему [Текст] : пер. с англ. / К. Нейлор. – М. : Энерго-

атомиздат, 1991. – 288 с.

3. Уотермент, Д. Руководство по экспертным системам [Текст] : пер. с англ. / Д. Уотермент. – М. : Мир, 1989. – 388 с.

4. Этапы разработки экспертных систем [Электронный ресурс] // Библиотека ИТ. – Режим доступа : <http://it-library.org/articles/?c=9&&a=204> (дата обращения : 12.04.2012).

Иванов Алексей Дмитриевич

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула

Магистрант кафедры Автоматизированные станочные системы

E-mail: ALDIvanov@mail.ru

A.D. IVANOV

EXPERT SYSTEM OF LEARNING AND IMPROVING KNOWLEDGE FOR EXPERTS OF BROADBAND SECTOR OF THE INTERNET ACCESS

Nowadays wideband Internet displaces other ways of access to the Internet. It is necessary to increase the number of qualified specialists who can diagnose and find different ways of solving problems connected with the access to the Internet. This is important because of constantly expanding audience of the Internet users.

Keywords: *expert system, training of experts, increasing experts' knowledge, development of expert system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kultin, N.B. Delphi 6. Programming in object pascal [Text] / N.B. Kultin. – Spb.: BXV-Petersburg, 2004. – 526 p.
2. Naylor, C. Build you own expert system [Text]/transl. from engl. / C. Naylor – М.: Energoatomizdat, 1991. – 288p.
3. Waterman, D. A guide to expert system [Text]/transl. from engl. / D. Waterman – М.: Mir, 1989. – 388p.
4. Stages of development of expert systems [Electronic resource] // IT Library. – Access mode: <http://it-library.org/articles/?c=9&&a=204> (date of treatment: 12.04.2012).

Ivanov Alexey Dmitrievich

FSBEI HVT «Tula State University», Tula

Undergraduate of the department Automated machine system

E-mail: ALDIvanov@mail.ru

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 620.179.1.082.7

Г.И. УТКИН

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗЪЁМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ И ТЕНДЕНЦИЙ ЕГО РАЗВИТИЯ

Статья содержит аналитический обзор предприятий, которые специализируются на производстве разъёмных электрических соединителей. Рассмотрены мировые лидеры этой отрасли, отечественные и зарубежные производители электрических соединителей. Выполнен анализ тенденций развития производства разъёмных электрических соединителей и направлений улучшения их технических характеристик и показателей качества.

Ключевые слова: *разъёмный электрический соединитель; контактная пара; промышленное производство; отечественные и зарубежные производители; тенденции развития производства; технические характеристики; показатели качества*

Разъёмные электрические соединители (разъёмы) – широко распространённые компоненты радиоэлектронной и электромеханической аппаратуры. Основным функциональным элементом разъёма, предназначенным для коммутации токоведущих частей аппаратуры, является контактная пара. Согласно статистическим данным предприятий – изготовителей разъёмов, около 75 % отказов разъёмов происходит из-за износа их контактных пар, а отказ электрического соединителя, в свою очередь, является одним из наиболее типичных видов отказов радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры.

Состояние мирового промышленного производства разъёмов

Производство разъёмных электрических соединителей – это крупный сектор мировой экономики. В нём занято в общей сложности 1245 фирм, большинство из которых представляют собой небольшие предприятия, специализирующиеся на выпуске ограниченной номенклатуры разъёмов, реализуемых на рынках местного или национального значения. Ведущую роль на мировом рынке разъёмов играет сравнительно небольшое (около сотни) количество крупных производителей; например, в 2011-м году сто крупных производителей разъёмов реализовали свою продукцию на общую сумму 31,6 млрд. долларов США, что составило 83,9 % всего объёма мирового рынка соединителей (табл. 1).

Таблица 1 – Объёмы продаж (в млрд. долл. США) разъёмов по регионам в 2009 и 2011 гг.

Регион мира	Объём продаж в 2009 г.	Объём продаж в 2011 г.	Относительное изменение, %
Северная Америка	8,818	11,798	+25,3
Европейский Союз	6,559	7,605	+13,8
Япония	4,242	5,596	+24,2
Юго-Восточная Азия	4,523	5,029	+10,1
Другие регионы	1,432	1,570	+8,8
Всего:	25,576	31,600	+19,1

Более половины предприятий из 100 крупнейших производителей разъёмных электрических соединителей находятся в странах Северной Америки (США и Канада). На их

долю приходится 58,6 % объёмов продаж от общего объёма продаж 100 ведущих мировых производителей и 63,1 % объёма продаж всех североамериканских фирм-производителей разъёмов. Вторую большую группу составляют японские производители разъёмов, на долю которых приходится 18,5 % объёма продаж 100 ведущих мировых производителей и 61,9% объёма продаж разъёмов продаж в Японии. В странах Европейского Союза расположено 29 предприятий из 100 крупнейших мировых производителей разъёмов. На них приходится 18,2 % объёма продаж 100 ведущих мировых производителей и 34,6 % объёма продаж разъёмных электрических соединителей в Европейском Союзе. В число ста крупнейших фирм-производителей разъёмов не входит ни одно предприятие из России, других стран Содружества Независимых государств, стран с переходной экономикой и развивающихся стран.

В распределении объёма продаж разъёмов по областям их применения самым большим рынком для 100 крупнейших фирм-производителей в 2011-м году продолжает оставаться рынок комплектующих изделий для компьютеров и периферийных устройств. Объём продаж разъёмных электрических соединителей в этом рыночном секторе достиг 6,634 млрд. долларов США и составил 78,6 % от общего объёма продаж разъёмов (табл. 2).

Таблица 2 – Доля рынка (млрд. долларов США) отраслей по применению разъёмов (2011 г.)

Вид оборудования	Продажи 100 ведущих производителей	Объём мировых продаж	Доля рынка, %
Компьютеры и периферия	6,634	8,435	28,02
Бизнес, розница и образование	0,591	1,247	4,14
Измерительные приборы	0,628	0,716	2,38
Медицинская техника	0,406	0,616	2,05
Промышленное оборудование	3,138	4,236	14,07
Автомобили	4,696	4,724	15,69
Транспорт (кроме автомобильного)	0,786	1,206	4,01
Военная и аэрокосмическая	1,396	2,006	6,67
Связь и телекоммуникационные сети	5,849	5,890	11,54
Бытовая техника	0,963	1,025	3,41
Прочие виды оборудования	1,416	1,494	8,02
Всего:	25,087	30,101	100

В распределении объёмов продаж по назначению разъёмных электрических соединителей лидируют соединители для печатных плат. В 2002 году мировой объём их продаж составлял около 11,324 млрд. долларов США, что составляло 44,82 % общего мирового объёма продаж разъёмов. Объёмы продаж разъёмов различного назначения отражены в таблице 3.

На долю 10 ведущих мировых производителей разъёмов в 2003 году приходился объём продаж около 16,696 млрд. долларов США, что на 21,1 % больше по сравнению с 2002 годом, когда объёмы продаж составили 13,788 млрд. долларов США. Пять фирм из «первой десятки» находятся в США, три – в Японии, по одной – в Европе и Юго-Восточной Азии. Данные по объёмам продаж разъёмов фирмами «первой десятки» приведены в таблице 4.

Самый крупный производитель разъёмов в мире – американская фирма Tyco Electronics, суммарные продажи разъёмов которой в 2003 году составили 5,841 млрд. долларов США. Доля Tyco Electronics в первой десятке производителей превышает 35 %, на мировом рынке – 18,5%. Второе место занимает американская фирма Molex с общим объёмом продаж в 32,438 млрд. долларов США. Доля фирмы Molex в первой десятке производителей составляет 14,6 %, на мировом рынке – 7,7 %. Третье место принадлежит американской фирме FCI (Framatome Connectors International), у которой в 2003 году объём продаж разъёмов был на уровне 2,251

Приборостроение и биотехнические системы

млрд. долларов США, что составило 13,5 % от продаж десяти крупнейших фирм и 7,1 % от объёма мировых продаж. Всего десять ведущих фирм-производителей разъёмных электрических соединителей в 2003 году реализовали продукции на сумму 316,696 млрд. долларов США, что составило 52,8 % объёма мировых продаж разъёмов.

Таблица 3 – Доля рынка (в млрд. долларов США) разъёмов по назначению

Тип (назначение) разъёмных электрических соединителей	Продажи 100 ведущих производителей	Объём мировых продаж	Доля рынка, %
Для печатного монтажа	9,488	11,324	44,82
Прямоугольные	4,333	5,937	13,5
Розетки	1,082	1,656	3,55
Коаксиальные	1,477	1,517	3,00
Цилиндрические	1,715	1,859	5,16
Телефонные и связные	0,484	0,580	2,18
Оптоволоконные	0,667	0,709	2,81
Терминальные блоки	0,304	0,502	1,99
Силовые	0,587	0,685	2,71
Питания и высоковольтные	0,459	0,496	1,96
Специальные	4,508	4,558	14,82
Другие типы	1,399	1,773	3,5
Всего:	20,596	25,265	100

Таблица 4 – Доля рынка (в млрд. долларов США) десяти ведущих производителей разъёмов

Место и название фирмы	Объём продаж в 2002 году	Объём продаж в 2003 году	Прирост, %
1 Tyco Electronics	4,696	5,841	18,5
2 Molex	1,906	2,437	7,7
3 FCI	1,925	2,251	7,1
4 Delphi Connection Systems	1,136	1,145	3,6
5 Amphenol	0,778	1,033	3,3
6 Foxconn	0,755	0,930	2,98
7 Hirose Electric	0,717	0,835	2,6
8 Yazaki	0,653	0,770	2,4
9 3-M	0,637	0,739	2,3
10 JAE	0,585	0,712	2,3

В период с 1981 по 2011 гг. спрос на разъёмные электрические соединители снижался только три раза – в 1985, 1992 и 2008 годах. В 2008 году были наихудшие показатели за всю историю производства разъёмов – объём продаж снизился на 19,1 %. Аналитики отмечали несколько возможных причин этого явления: усиление конкуренции на рынке услуг связи, сокращение инвестиций в развитие Интернета и средств телекоммуникаций, сокращения персонала на предприятиях электронной промышленности и т.п.

В СССР разработка и производство разъёмных электрических соединителей были начаты, как и в других технически развитых странах, в 1940-х годах XX века, и до начала 1990-х годов отечественные разъёмы по своему техническому уровню, качеству и надёжности находились на уровне лучших мировых аналогов, а по некоторым характеристикам и превосходили их. Отставание технического уровня отечественных разъёмов от мирового

уровня произошло в период с 1992 по 2000 гг. [1]. Причём ухудшилось не качество, а конструктивные характеристики соединителей, такие, как количество контактных пар в разъёме, плотность их расположения, массовые и габаритные характеристики, технологические возможности. На состояние отечественного производства разъёмных электрических соединителей особое влияние оказало технологическое отставание предприятий, так как с повышением плотности и точности расположения контактных пар резко возрастают требования к точности изготовления технологической оснастки (пресс-форм и штампов). В настоящее время в России выпускается недостаточно станков для производства такой оснастки, как по номенклатуре, так и по количеству. Не хватает отечественных высокотехнологичных и долговечных электроизоляционных материалов (стеклонаполненные термопластичные материалы), необходимых для изготовления изоляторов.

Отечественное производство медных сплавов с высокой электропроводностью пострадало в меньшей степени, но и здесь необходимо проводить работы по увеличению точностных параметров бронзы и латуни, необходимых для производства контактных пар.

Но особенно сильное влияние технический уровень, качество и надёжность отечественных разъёмов оказал отказ государства от организационного и технического регулирования разработки и производства соединителей, а также ликвидация ряда предприятий, исторически специализировавшихся на проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области разработки новых конструкций разъёмных электрических соединителей и технологических процессов их изготовления.

На российском рынке отечественные производители сохраняют за собой значительную долю. Однако значительную конкуренцию им составляют производители из стран Юго-Восточной Азии, которые за счёт более низких цен увеличивают объём продаж в России. Одновременно с этим, некоторые отечественные предприятия полностью прекратили производство соединителей, в частности, заводы в городах Бишкек, Джалал-Абад, Каракуль, Ереван, Жмеринка, Антрацит, Тбилиси, Аркалык, Черкесск. Эти обстоятельства сдерживают развитие отечественной электронной промышленности и уменьшают отечественную долю рынка разъёмных электрических соединителей.

Целевой программой «Развитие электронной техники в России» поставлена задача завоевания отечественного рынка разъёмов на 50-70 %. Вместе с этим в 2002 году Президентом России утвержден документ «Основы политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы на период до 2010 года и дальнейшую перспективу». Этот документ стал началом больших изменений в регулировании рынка электронных компонентов России и ослаблении зависимости от западных поставщиков. В настоящее время отечественные предприятия, сохранившие производство разъёмных электрических соединителей, в основном занимаются «импортозамещением», то есть освоением производства наиболее массовых серий разъёмов, выпускаемых ведущими мировыми фирмами – лидерами отрасли. Но полноценное импортозамещение сдерживают нехватка высокоточного оборудования для изготовления технологической оснастки и отсутствие отечественных высокотехнологичных электроизоляционных материалов.

Тенденции развития производства электрических соединителей

Основные тенденции развития промышленного производства и повышения качества разъёмных электрических соединителей включают в себя научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность по нескольким направлениям [2].

1 *Разработка новых оригинальных конструктивных решений.* Эта тенденция заключается в проведении интенсивных опытно-конструкторских работ, направленных на сравнительное «упрощение» конструкции контактных пар и увеличение плотности их расположения по поверхности изолятора, поиск новых конструктивных решений, улучшающих качество соединения рабочих поверхностей деталей контактных пар разъёмных соединителей.

2 *Выбор и разработка более качественных материалов для изготовления разъёмов.* Эта тенденция реализуется в направлении поиска новых электропроводных покрытий контактирующих поверхностей и улучшении технологических свойств материалов деталей контактных пар, а также в совершенствовании изоляционных материалов за счёт повышения срока службы изолятора при неизменности его диэлектрических свойств, улучшения эксплуатационных характеристик и технологических свойств изоляторов.

3 *Разработка новых технологических процессов изготовления разъёмов.* В этом направлении основные тенденции развития следующие: обеспечение стабильности технологических процессов; разработка технологических процессов, основанных на новых научных направлениях, например, применение «нанотехнологий» для управления такими параметрами, как усилие сочленения, переходное сопротивление контакта и т.п.

4 *Обеспечение условий для снижения степени воздействия внешних факторов непосредственно на разъём.* Тенденции развития производства в этом направлении: снижение массы и габаритов электронной аппаратуры и самих разъёмов; снижение (вплоть до нулевых значений) степени передачи внешних воздействий непосредственно через разъём; тщательная проработка конструкции электронной аппаратуры с целью уменьшения количества элементов комплектующих, разъёмами.

5 *Разработка новых методов монтажа разъёмов в аппаратуре.* Основные тенденции развития производства разъёмов в этом направлении следующие: создание групповых методов монтажа; создание новых методов монтажа (например «пресс-фит» – объёмное обжатие соединяемых деталей).

Работа по повышению качества разъёмных электрических соединителей не исчерпывается изложенными тенденциями и направлениями. Основной мировой тенденцией в области повышения качества и технического уровня соединителей является постоянный рост основных характеристик – долговечности, ресурса, срока службы, наработки до отказа. В настоящее время у лучших мировых образцов разъёмных электрических соединителей эти характеристики достигли следующих значений: ресурс – до 250 тыс. ч (при среднестатистическом показателе 10 тыс. ч); срок службы и срок сохраняемости – до 30 лет (при среднестатистических показателях 12...15 лет); наработка до отказа – до 250 тыс. ч при доверительной вероятности 99,5% (среднестатистический показатель составляет 10 тыс. ч).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов, Л. А. Электрические прямоугольные соединители [Текст] / Л. А. Сафонов, А. Н. Сафонов // Компоненты и технологии. – 2008. – № 2. – С. 41-46.
2. Мышкин, Н. К. Трибология. Принципы и приложения [Текст] / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – Гомель : ИММС НАНБ, 2002. – 310 с.

Уткин Георгий Игоревич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Телефон (4862) 41-98-76;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

G.I. UTKIN

ANALYSIS CONDITION OF INDUSTRIAL PRODUCTION THE PREFABRICATED ELECTRICAL CONNECTORS AND THE TENDENCIES OF THEY DEVELOPMENT

An article is containing of analytic survey the undertakings, which is specialization on the making of prefabricated electrical connectors. The world leaders these branches of industry, the native and foreign makers of electrical connectors are considering. The tendencies of development the production of prefabricated electrical connectors and the directions of improvement they technical characteristics and the indexes of quality are making.

Keywords: *prefabricated electrical connector; contact pair; industrial production; native and foreign makers; tendencies of development the production; technical characteristics; indexes of quality*

BIBLIOGRAPHY

1. Safonov L.A. Electrical Rectangular Connectors [Text] / L.A. Safonov, A.N. Safonov// Components and Technologies. -2008, - №2, pp. 41-46.

2. Myshkin N.K. Tribology. Principles and Applications [Text] N.K. Myshkin, M.I. Petrokovets, - Gomel: IMMS NANB, pp. 310, 2002.

Utkin Georgy Igorevich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Post graduate student

Department. of Instrument-making, Metrology and Certification

УДК 681.5

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, С.А. МОИСЕЕВ

ПРОГНОЗИРУЮЩИЙ КОНТРОЛЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С АДАПТИВНЫМИ ИНТЕРВАЛАМИ ВРЕМЕНИ Часть 2. Алгоритм контроля, анализ точности

Представлен алгоритм прогнозирующего контроля радиоэлектронной аппаратуры с интервалами времени между контролем, адаптивными к состоянию объекта. Приведены результаты исследования влияния дестабилизирующих факторов на точность прогнозирования.

Ключевые слова: *контроль, прогнозирование, радиоэлектронная аппаратура, определяющие параметры*

The algorithm of the predicting control of radio-electronic equipment with time intervals between the control, adaptive to an object condition is presented. Results of research of influence of destabilising factors on accuracy of forecasting are resulted.

Keywords: *control, forecasting, radio-electronic equipment, defining parameters.*

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

На основе представленной в [1] модели разработан алгоритм прогнозирующего контроля радиоэлектронной аппаратуры (НЧ). Рассматриваемый алгоритм строится на основе минимаксного оценивания, суть которого состоит в определении гарантированных, относительно имеющихся исходных данных, пределов изменения прогнозируемых величин. В соответствии с данным подходом одной из ключевых задач прогнозирования является определение и минимизация предельной ошибки ε оценки прогнозируемого параметра. Решение этой задачи реализуется в несколько этапов, предполагающих последовательный учет основных факторов, оказывающих влияние на точность прогнозирования.

Алгоритм включает следующие основные этапы:

– измерение значения параметра $y_j(t_i)$ в моменты контроля t_i и оценивание технического состояния j -го экземпляра РЭА ($j = 1, n$) до получения минимального объема статистических данных ($i \geq 2$), позволяющего реализовать процедуру сглаживания;

– вычисление оценок параметров $a_{q0}, a_{q1}, \dots, a_{ql}, \dots, a_{qm}$ методом Левенберга-Марквардта для каждого оператора прогнозирования, содержащегося в базе данных (выражения вида (2)–(5) и (7)–(10) [1]);

– вычисление ошибок оценок параметров оператора прогнозирования $\Delta' a_{ql}, l = \overline{0, m}$ с учетом погрешностей, вносимых как в процессе измерения значений определяющего параметра в моменты контроля, так и при сглаживании результатов измерений $y_j(t_i)$;

– прогнозирование значений параметра на интервал упреждения Δt_i в очередной момент времени t_i по каждому оператору H_q , содержащемуся в базе данных;

– функционирование РЭА на интервале Δt_i , измерение значения прогнозируемого параметра в момент t_{i+1} и получение оценки $y_q(t_{i+1})$;

– расчет ошибки прогнозирования $\varepsilon_0 = y_q(t_{i+1}) - y_q^*(t_{i+1})$;

– вычисление ошибки $\Delta \varepsilon_0$ как функции от погрешностей результатов измерения и прогнозирования значения параметра в момент t_{i+1} ;

– определение предельной ошибки прогноза $\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta \varepsilon_0$;

– анализ приращения ошибки и формирование наилучшей предыстории L_q для каждого оператора прогнозирования, хранящегося в базе данных;

– определение наилучшего на i -м шаге оператора прогнозирования технического состояния H_z ;

– получение гарантированной оценки значения прогнозируемого параметра как верхней (нижней) границы доверительного интервала: $y_{extr}^*(t_{i+1}) = y_z^*(t_{i+1}) \pm \varepsilon(t_{i+1})$;

– прогнозирование интервала работоспособности $\tau = T - t_{i+1}$, где T - момент выхода значения параметра за границу области работоспособности D с использованием уравнения отказа (оператора прогнозирования надежности) R_z , соответствующего оператору прогнозирования дрейфа параметра H_z ;

– определение гарантированного значения интервала работоспособности как верхней (нижней) границы доверительного интервала: $\tau_{extr}^*(t_{i+1}) = \tau_z^*(t_{i+1}) \pm \varepsilon(t_{i+1})$;

Результат прогнозирования работоспособности РЭА на каждом шаге выводится для анализа и принятия решения по формированию управляющего воздействия на РЭА.

Надежность (достоверность) полученного результата оценивается вероятностью верного заключения $P_{вз}$ [2, 3]. При выполнении условия $P_{вз} \geq P_d$, где P_d - допустимое значение показателя достоверности, работа алгоритма завершается

По результатам пошаговой адаптации оператора прогнозирования и выбора наилучшей предыстории формируется множество моделей $M = \{H_q, L_q\}$, $q = \overline{1, p}$, из которого осуществляется выбор варианта $M_z = \{H_z, L_z\}$, обеспечивающего минимум предельной ошибки прогноза. Данный вариант используется в качестве исходных данных для имитационного моделирования прогнозируемого процесса с целью коррекции интервала контроля Δt_i и обоснования требований к допустимой погрешности измерений $\Delta_{и}$.

Дальнейшая работа алгоритма осуществляется по скорректированным значениям Δt_i и $\Delta_{и}$ с пошаговой коррекцией интервала работоспособности до выполнения условия $P_{вз} \geq P_d$ либо до момента выхода значения определяющего параметра $y_j(t_i)$ за допустимые пределы.

Основными преимуществами данного алгоритма по сравнению с существующими являются следующие:

– алгоритм позволяет прогнозировать как интервал сохранения работоспособности, так и значения параметров РЭА в заданный момент времени;

– производить уточнение получаемых при прогнозировании величин в процессе эксплуатации объекта по мере накопления априорной информации о прогнозируемом процессе;

– выбирать оператор прогнозирования и оценивать погрешность прогноза на основе обработки априорной информации как о конкретном экземпляре РЭА, так и по ансамблю однотипных средств;

– определять гарантированное значение момента очередного контроля с учетом основных факторов, оказывающих влияние на точность прогноза.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Произведено исследование влияния дестабилизирующих факторов на точность прогнозирования технического состояния радиоэлектронной аппаратуры с применением программной реализации разработанной имитационно-аналитической модели. Влияние основных дестабилизирующих факторов на точность прогнозирования оценивалось нормированным СКО ошибки прогноза: $\sigma_H = \sigma_{\text{ош}} / \sigma_{\text{пр}}$, где $\sigma_{\text{ош}}$ – СКО ошибки прогнозирования; $\sigma_{\text{пр}}$ – безусловное СКО прогнозируемого параметра.

Проведенный анализ результатов исследования позволил выделить ряд закономерностей, характеризующих диалектическую взаимосвязь между точностью прогнозирования, вероятностной структурой случайного процесса, параметрами ошибок измерений, объемом исходных данных и формой детерминированной составляющей прогнозируемого процесса.

На рисунках 1, 2 приведены графики, иллюстрирующие данные зависимости. Введены следующие обозначения: σ_H – нормированное СКО ошибки прогноза; $\sigma_{\text{фл}}$ – СКО флуктуационной составляющей случайного процесса дрейфа параметра; t_3 – длительность интервала экстраполяции; t_H – длительность интервала наблюдения; k – число отсчетов на интервале наблюдения; Δt_i – интервал между отсчетами; m – количество измерений в момент отсчета; 1 – реальная модель линейная, гипотетическая – линейная; 2 – реальная модель линейная, гипотетическая – парабола; 3 – реальная модель линейная, гипотетическая – экспонента.

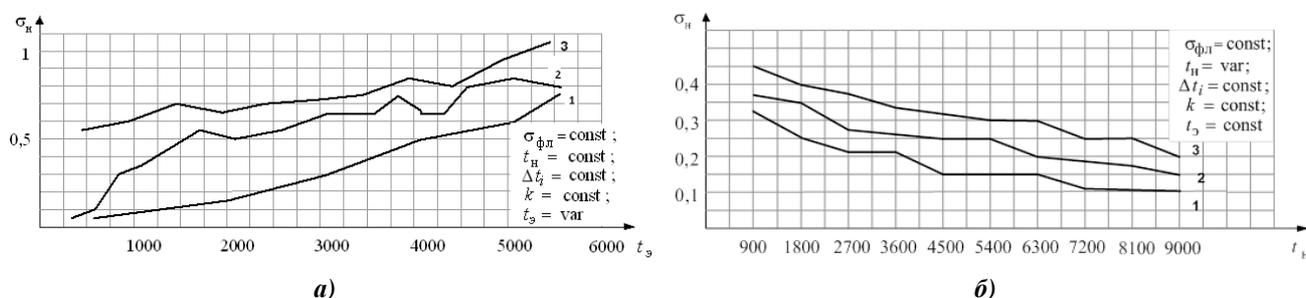


Рисунок 1 – Зависимости СКО результирующей погрешности от интервала экстраполяции (а) и от времени наблюдения (б) при различных комбинациях трендов

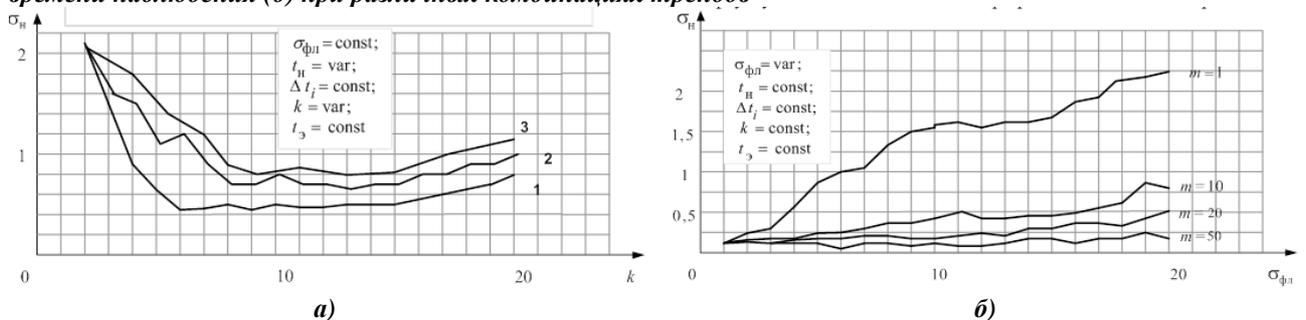


Рисунок 2– Зависимости СКО результирующей погрешности от числа отсчетов при фиксированном интервале Δt_i (а) и от СКО флуктуационной составляющей при различном числе измерений (б)

Выявленные закономерности сводятся к следующему:

1. Точность прогнозирования существенно зависит от соответствия выбранной модели дрейфа параметра (оператора прогнозирования) реальной форме детерминированной составляющей прогнозируемого процесса. Чем удачнее выбрана модель для данного случайного процесса, тем меньше при прочих равных условиях ошибка прогноза.

2. С увеличением интервала экстраполяции ошибка прогнозирования возрастает, что обусловлено ослаблением корреляционных связей между отсчетами на интервале наблюдения и прогнозируемым значением параметра.

3. Увеличение времени наблюдения при фиксированных значениях k , и t_3 , а также числа отсчетов при неизменных t_3 и t_H приводит к снижению ошибки прогнозирования. Это означает, что возможны ситуации, когда одинаковую точность прогноза можно обеспечить увеличением как числа отсчетов при фиксированном t_H , так и времени наблюдения при ограниченном k .

4. С увеличением числа отсчетов при фиксированном Δt_i погрешность прогнозирования изменяется немонотонно, что обусловлено совместным влиянием детерминированной и флуктуационной составляющих исследуемого случайного процесса. Очевидно, что существует оптимальное число отсчетов, минимизирующее ошибку прогноза.

5. Увеличение СКО флуктуационной составляющей приводит к снижению точности прогнозирования за счет ослабления корреляционных связей между отсчетами, причем данная зависимость обусловлена как влиянием флуктуаций в точках отсчета в моменты t_1, t_2, \dots, t_k , так и точностью оценки фактического значения параметра в момент $t_{пр}$.

6. Многократные измерения целесообразно проводить при значительном уровне флуктуаций. При $\sigma_{фл} < 1$ многократные измерения практически не оказывают влияния на значение σ_H . С увеличением m от 1 до 10 ошибка прогнозирования резко уменьшается, а при $m > 50$ воздействие флуктуационной составляющей сказывается незначительно. Это объясняется снижением погрешности измерений, которая в значительной степени обуславливает величину флуктуационной составляющей.

На основе анализа выявленных закономерностей сделан вывод о том, что из всех рассмотренных факторов флуктуационная составляющая вносит наибольший негативный вклад в формирование результирующей погрешности прогнозирования, а для ее ослабления можно эффективно использовать многократные измерения.

В соответствии с [4] рекомендации по практическому применению прогнозирующего контроля радиоэлектронной аппаратуры с адаптивными интервалами времени можно сформулировать следующим образом.

Информацией для принятия решений о длительности очередного межконтрольного интервала являются результаты контроля и прогнозирования состояния экземпляра РЭА. Результаты контроля позволяют оценить техническое состояние и запас работоспособности в момент контроля, а результаты прогноза – динамику изменения состояния (запаса работоспособности) в будущие (упрежденные) моменты времени. Реализация схемы определения периодичности контроля заключается в построении правила решения, связывающего конкретное решение с данными контроля и результатами прогноза.

Простейшей моделью объекта контроля является однопараметрическая модель, в которой техническое состояние зависит от одного параметра. На параметр задан гарантийный допуск, характеризуемый границами $[A, B]$. Объект считается работоспособным, если параметр состояния находится внутри поля допуска, и неработоспособным – в противном случае. За показатель качества однопараметрического объекта можно принять характеристическую функцию гарантийного поля допуска

$$W = L(x) = \begin{cases} 1 & \text{дè } x \in [A, B] \\ 0 & \text{дè } x \notin [A, B] \end{cases}.$$

Рассмотрим схему определения периодичности контроля однопараметрического объекта с использованием результатов прогноза его технического состояния.

Пусть работоспособность объекта определяется состоянием контролируемого дискретно выходного параметра $x(t)$. Условие работоспособности задано в виде

$$A \leq x(t) \leq B,$$

где A, B – соответственно нижняя и верхняя границы допустимых изменений параметра.

Задача состоит в назначении таких моментов контроля и коррекций параметра, при которых гарантируется его нахождение в области допустимых значений (выполнение условий работоспособности) в течение времени эксплуатации $[0, T]$. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы число измерений (и коррекций) было по возможности минимальным.

Пусть по результатам p контрольных измерений построены экстремальные реализации $x(t)_-$ и $x(t)_+$, $t > t_p$. Пересечение экстремальных реализаций с границами области допустимых изменений параметра A и B определит моменты времени τ_A и τ_B , минимальный из которых целесообразно принять за момент очередного $(p+1)$ -го контроля:

$$t_{p+1} = \min\{\tau_A, \tau_B\}.$$

Моменты времени τ_A, τ_B находятся решением уравнений:

$$x(t)_- = A \text{ и } x(t)_+ = B.$$

Очевидно, что в течение времени $t_r = t_{p+1} - t_p$ контролируемый параметр будет гарантированно находиться в области допустимых значений, поэтому до момента t_{p+1} производить измерение или коррекцию параметра нет необходимости. В момент t_{p+1} выполняется очередное измерение параметра, результат которого (z_{p+1}, t_{p+1}) используется для расчета параметров новых экстремальных реализаций. Определяется очередной промежуток времени, в течение которого параметр не выйдет за допустимые пределы. Если этот промежуток (назовем его интервалом гарантированной эксплуатации) окажется меньше некоторого наперед заданного минимально целесообразного времени эксплуатации t_a^{\min} ($t_{p+z} - t_{p+1} < t_a^{\min}$), то в момент времени t_{p+1} следует произвести коррекцию параметра $x(t)$.

Многопараметрический объект, описываемый совокупностью независимых параметров, для которых определены гарантийные допуски, можно считать работоспособным, если все параметры находятся в пределах своих допусков, и неработоспособным, если хотя бы один параметр выходит за пределы своего поля допуска. За обобщенный показатель качества такого объекта можно принять величину, вычисляемую как произведение характеристических функций полей допусков всех параметров:

$$W = \prod_{i=1}^N l_i(U_i),$$

где N – общее количество параметров объекта, а функция $l_i(U_i)$ определяется соотношением

$$l_i(U_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } U_i \in [A_i, B_i] \\ 0 & \text{if } U_i \notin [A_i, B_i] \end{cases}.$$

Схема принятия решения заключается в прогнозировании изменений каждого из параметров, сравнении результатов прогноза с границами своих полей допусков и назначении технического обслуживания по моменту первого выхода одного из параметров за пределы поля допуска.

Таким образом, определение периодичности контроля, обеспечивающей повышение эффективности эксплуатации РЭА, возможно на основе применения методов прогнозирующего контроля с адаптацией прогнозной модели по мере накопления априорной информации об объекте контроля. При этом гарантированное значение очередного момента контроля, обеспечивающее предотвращение постепенных отказов экземпляра РЭА, вычисляется как верхняя (нижняя) граница доверительного интервала оценки времени достижения параметром предельного состояния T_{np} , получаемой с использованием аналитических выражений (7)–(10) [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подмастерьев, К. В. Прогнозирующий контроль радиоэлектронной аппаратуры с адаптивными интервалами времени. Ч. 1. Теоретические основы и модели, характеристики дрейфа параметров [Текст] / К. В. Подмастерьев, С. А. Моисеев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 3-2. – С. 135 - 144.
2. Давыдов, П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств [Текст] / П. С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
3. Калявин, В. П. Основы теории надежности и диагностики [Текст] / В. П. Калявин. – СПб.: Элмор, 1998. – 172 с.
4. Абрамов, О. В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения [Текст] / О. В. Абрамов // *Информатика и системы управления*. – 2011. – № 2(28). – С. 4 - 15.

Подмастерьев Константин Валентинович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Д-р.техн.наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862) 41-98-02
E-mail: asms-orel@mail.ru

Моисеев Сергей Александрович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Соискатель кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
E-mail: ant1441@yandex.ru

K.V. PODMASTERYEV, S.A. MOISEEV

**THE PREDICTING CONTROL OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT
WITH ADAPTIVE INTERVALS OF TIME
Part 2. Algorithm of the control, the accuracy analysis**

BIBLIOGRAPHY

1. Podmasteryev, K.V. The predicting control of radio-electronic equipment with adaptive intervals of time. Part 1. Theoretical foundations and models, characteristics of parameters' drifting [Text] / K.V. Podmasteryev, S.A. Moiseev // *Fundamental and applied problems of Engineering and Technology*. - 2012. - № 3-2. - P. 135-144.
2. Davydov, P.S. Technical diagnostics electronic device [text] / P.S. Davydov. - M.: Radio and communication, 1988. – 256 p.
3. Kalyavin, V.P. Basic theory of reliability and diagnostics [Text] / V.P. Kalyavin. - St.P.: Elmor, 1998. - 172 p.
4. Abramov, O.V. Monitoring and forecast the state of technical systems responsible to-value [Text] / O.V. Abramov // *Computer and control systems*. - 2011. - № 2 (28). – P. 4-15.

Podmasteryev Konstantin Valentinovich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Doctor of technical Sciences, professor, head of the department “Instrument engineering, metrology and certification”
Phone: (4862) 41-98-02
E-mail: asms-orel@mail.ru

Moiseev Sergey Aleksandrovich

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel
Degree-seeking student of department “Instrument engineering, metrology and certification”
E-mail: ant1441@yandex.ru

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.001.2

А.Л. МИРОНОВА, Н.И. ГОНЧАРОВА

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ВЫБОР РАСХОДОМЕРА ДЛЯ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЕТА РАСХОДА СЖИЖЕННОГО ГАЗА УИЖГЭ 50

В данной статье приводится краткий анализ технических характеристик приборов учета на объектах, использующих сжиженные углеводородные газы. Рассматриваются перспективы развития оборудования нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: расходомер, сжиженный газ.

Постановка задачи исследования

Промышленное измерение сжиженного газа стало важной необходимостью на современном рынке углеводородов.

Наша страна имеет огромные природные запасы углеводородов. Ежегодно из недр земли в России извлекается около 500 млн. тонн нефти. Добыча, которой всегда сопровождается извлечением попутного газа. В советское время основное количество попутного газа сжигалось. С 2010 года вступил в силу закон ограничивающий процент сжигания попутного газа. Эти меры позволяют наиболее рационально использовать природные ресурсы страны и снизить негативное влияние на экологию. При этом продукты переработки попутного газа вошли в нашу жизнь как один из важнейших компонентов нефтегазовой промышленности. Сжиженный газ нашел широкое применение в коммунальном хозяйстве, нефтехимии, промышленности, в качестве моторного топлива.

Проектирование установок учета сжиженного газа является сложным и ответственным процессом. Свойства сжиженного газа требуют специального оборудования, отвечающего высоким требованиям по безопасности и точности. Измерение расхода и массы веществ (жидких, газообразных, сыпучих, твердых, паров и т. п.) в химических производствах широко применяется как в товароучетных и отчетных операциях, так и при контроле, регулировании и управлении технологическими процессами.

Работа проводилась на базе ОАО «Промприбор».

Сжиженный углеводородный газ – углеводороды и их смеси, которые при нормальном давлении и температуре окружающего воздуха находятся в газообразном состоянии, но при увеличении давления на относительно небольшую величину без изменения температуры переходят в жидкое состояние.

Расход вещества измеряется с помощью расходомеров, представляющих собой средства измерений или измерительные приборы расхода. Многие расходомеры предназначены не только для измерения расхода, но и для измерения массы или объема вещества, проходящего через средство измерения в течение любого, произвольно взятого промежутка времени. В этом случае они называются расходомерами со счетчиками или просто счетчиками. Масса или объем вещества, прошедшего через счетчик, определяется по разности двух последовательных во времени показаний отсчетного устройства или интегратора.

Свойства сжиженных газов влияют на меры безопасности, а также конструктивные и технические особенности оборудования, в котором они хранятся, используются, перевозятся.

Одним из основных вопросов при проектировании установок учета являются приборы измерения. Современный рынок представлен большим многообразием типов расходомеров и фирм их выпускающих. Порой цены на оборудование использующие одинаковый принцип измерения могут различаться в десятки раз.

В работе был проведен комплексный анализ существующих расходомеров и выбраны конструкции, в полной мере удовлетворяющие техническим, метрологическим, требованиям, качественным и ценовым характеристикам для установки измерения и учета расхода сжиженного газа – УИЖГЭ 50.

Для контроля и управления химическим производством большое значение имеет измерение расхода и количества различных веществ: газов, жидкостей, пульп и суспензий. Расход вещества – это его количество, протекающее через сечение трубопровода в единицу времени.

Расходомеры (счётчики) количества вещества являются важными элементами систем учёта потребления энергоресурсов и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве.

При выборе конструкции расходомера необходимо учитывать следующие требования:

- возможность проводить измерение расхода сжиженного газа;
- диаметр условного прохода должен составлять 50 мм;
- погрешность измерения – 1-2%;
- отсутствие требований по монтажу на прямолинейных участках трубопровода;
- возможность измерения паровой составляющей возвратившейся обратно в резервуар.

На современном рынке широко представлены расходомеры семи основных типов использующие различный принцип измерения. Каждый тип характеризуется своим рядом преимуществ и недостатков. Комплексный анализ условия применимости каждого из типов расходомеров позволяет сделать правильный выбор расходомера.

Кориолисовые расходомеры это приборы, использующие для измерения массового расхода жидкостей и газов эффект Кориолиса. Измеряемая среда, поступающая в расходомер, разделяется на равные части, протекающие через две U-образные сенсорные трубки, которые колеблются в противоположных направлениях. Поступательное движение измеряемой среды, в сенсорной трубке приводит к возникновению кориолисовой силы.

Преимуществами данных расходомеров является очень высокая точность измерения, стабильность показаний, невысокая чувствительность к загрязнениям среды. Среди недостатков – малые диаметры трубопроводов, зависимость показаний от отложений шлаков в трубопроводах.

Электромагнитные расходомеры. Отличительной особенностью таких расходомеров является возможность измерения расхода агрессивных, абразивных и вязких жидкостей и пульп.

Ультразвуковые расходомеры обладают теми же достоинствами, что и электромагнитные, и, кроме того, могут измерять расход неэлектропроводных жидкостей.

Погрешность измерения ультразвуковых расходомеров находится пределах от 0,1 до 2,5 %. Чаще всего такие расходомеры используют при измерении расхода жидкости, так как газы имеют низкое акустическое сопротивление и сложность получения интенсивных звуковых колебаний. Ультразвуковые расходомеры применяют для измерения расхода в трубах диаметром 10 мм и больше 2 м.

Вихревой расходомер - разновидность расходомера, принцип действия которого основан на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования.

Термально-массовые расходомеры применяются в основном для измерения массового расхода газов в системах без давления.

Расходомеры переменного перепада давлений. Действие этих расходомеров основано на возникновении перепада давлений на стандартном сужающем устройстве в трубопроводе при движении через него потока жидкости или газа.

Турбинные расходомеры. В таких расходомерах измеряемый поток приводит в движение турбинку.

На основании изученных данных была составлена таблица 1, показывающая возможности применения расходомеров основных типов в зависимости от свойств измеряемых сред.

Таблица 1 – Возможности применения расходомеров основных типов в зависимости от свойств измеряемых сред

	Типы расходомеров					
	Кориоли- совые	Электро- магнит- ные	Ультра- звуковые	Вихре- вые	Термаль- но- массовые	По пере- паду дав- ления
Применение на жидких сре- дах						
Жидкости вообще, напри- мер вода	+	+	+	+	*	+
Очень маленькие расходы (<2л/ч)	+	+	-	-	-	-
Очень большие расходы (>100000м ³ /ч)	-	+	+	-	-	+
Непроводящие жидкости	+	-	+	+	*	+
Вязкие жидкости(>50 сП)	+	+	*	*	-	*
Криогенные жидкости (например жидкий O ₂)	+	-	*	+	-	+
Пища и напитки (например молоко, пиво)	+	+	+	-	-	-
Применения для газов и пара						
Поток газа вообще (напри- мер поток воздуха)	+	-	-	+	+	+
Маленькие расходы (<20л/мин)	+	-	-	-	+	*
Большие расходы	-	-	-	*	+	+
Пар	*	-	-	+	-	+
Специальные применения						
Суспензии, взвеси	*	+	-	*	-	*
Смеси жидкость/ жидкость (нефть/вода)	+	*	*	+	-	*
Смеси жидкость/газ (во- да/воздух)	*	*	-	*	-	-
Коррозионные жидкости (кислоты, щелочи)	+	+	*	*	-	*
Коррозионные газы (напри- мер, пары HCl)	*	-	-	*	*	*
Применение в добывающей промышленности (взвеси руды)	-	+	-	-	-	-
Двунаправленные измерения (прямой/обратный поток)	+	+	+	-	+	*
Измерение снаружи без остановки процесса	-	-	+	-	-	-
Примечание: +- применяется; *-возможно применение при некоторых ограничениях; - -не применяется						

Используя таблицу были подобраны расходомеры максимально удовлетворяющие требованиям заказчика.

Установка с кориолисовыми счетчиками имеет два исполнения с счетчиками от различных производителей.

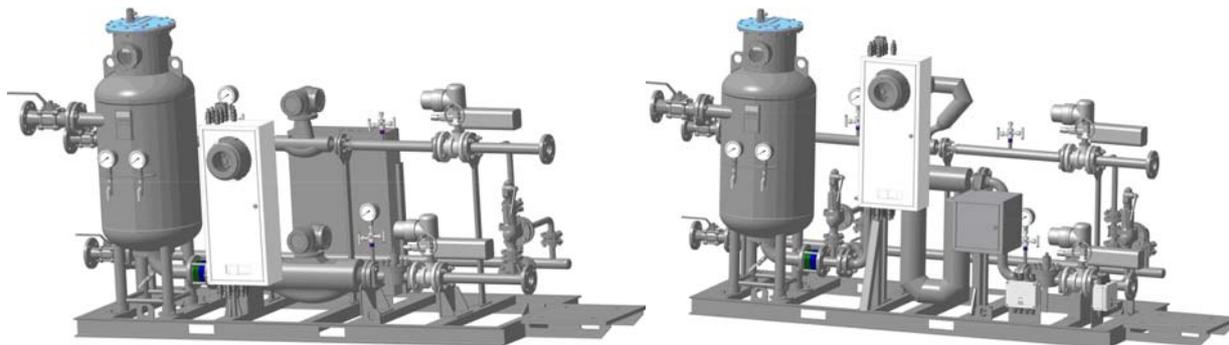


Рисунок 1 – Установки с кориолисовыми счетчиками

Различия этих установок в стоимости, в точности измерения и в габаритных и присоединительных размерах. На данных установках производится учет как жидкой так и возвратной паровой фазы.

Также было разработано исполнение со счетчиком турбинного типа (рис. 2), производимого на ОАО «Промприбор», что является его преимуществом за счет невысокой стоимости.



Рисунок 2 – Установка со счетчиком турбинного типа

Данное исполнение удовлетворяет требованиям заказчика, если установка используется в условиях производства для внутреннего измерения.

Проектирование проводилось на основании присоединительных размеров, согласно технического задания, выданного заказчиком, при этом учитывался опыт, приобретенный на предприятии за 50 лет работы на рынке нефтеналивного оборудования, который доказывает необходимость применения в любой измерительной системе: фильтров, газоотделителей, средств измерения жидкостей (счетчиков), клапанов, электронных систем управления и автоматизации.

Каждый прибор из перечисленных групп выполняет только ему отведенную функцию, которые в совокупности делают измерительную систему точной, безопасной и надежной.

Сжиженный газ, в силу своих физических свойств относится к числу опасных продуктов, как при хранении, так и при реализации. Поэтому в работе решалась задача компоновки данной установки на основании 3D модели каждого узла с последующей их сборкой.

По 3D моделям были выполнены рабочие чертежи установок (рис. 3). 3D модель дает возможность быстрой детализовки, доработки и внесения корректировок в конструкции установок в зависимости от требования заказчика, позволяет в процессе проектирования вносить исправления как в компоновку всего изделия, так и в сборочные единицы, его составляющие.

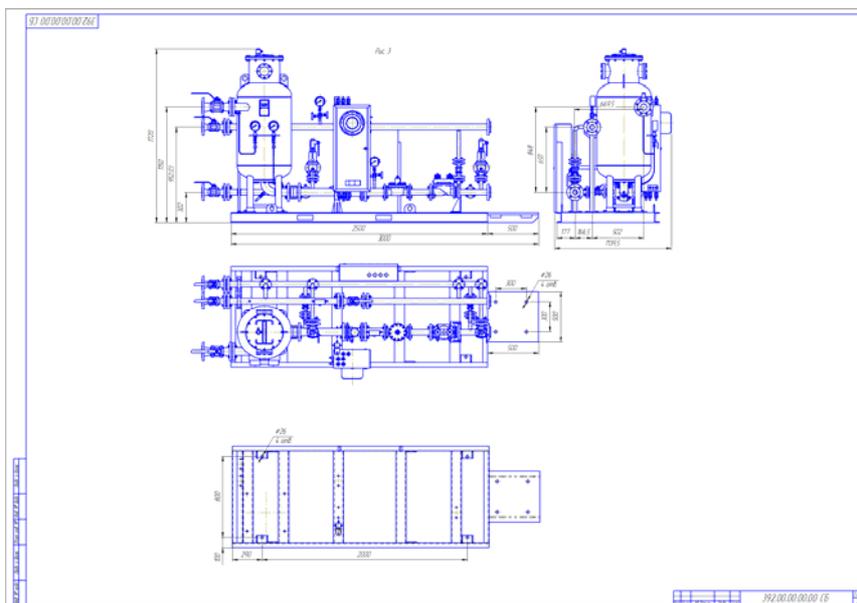
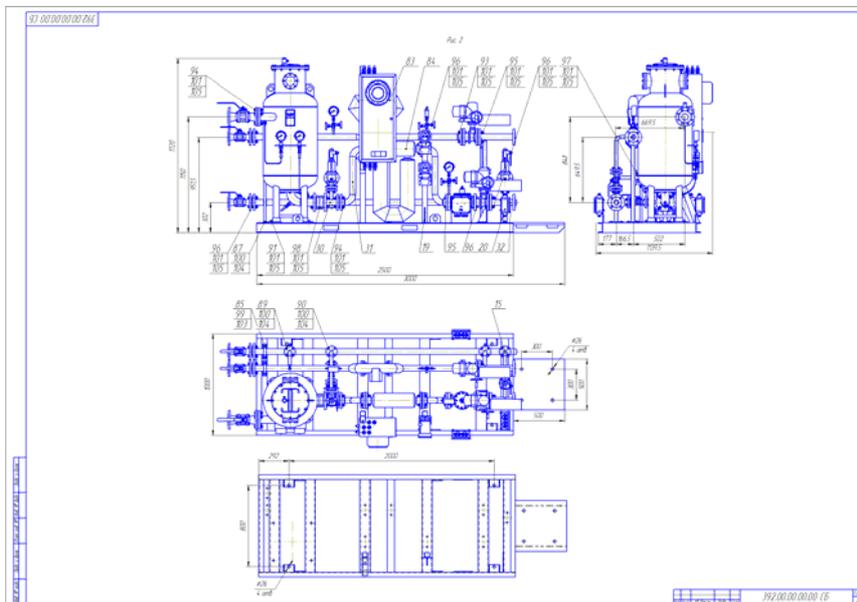
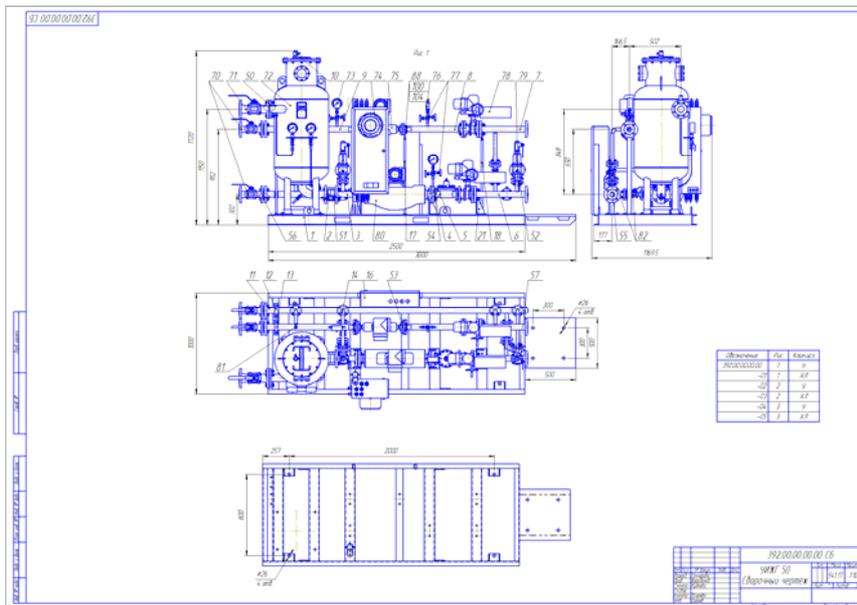


Рисунок 3 – Сборочные чертежи установок с расходомерами различного типа

После окончательной доработки и компоновки создана конструкторская и технологическая документация, включающая спецификации и чертежи деталей собственного изготовления, а также ведомости по закупке покупных изделий и полуфабрикатов.

В данный момент они изготавливаются на ОАО «Промприбор».

Существует большое количество средств для измерения расхода сжиженных газов при различных условиях. Они всё время модернизируются с целью повышения метрологических и технических характеристик. При проектировании подобного рода объектов необходимо учитывать технические и метрологические показатели, высокую степень надёжности, и сочетание цена-качество, которые бы удовлетворяли требованиям заказчика.

Проведенный анализ известных конструкций расходомеров показывает, что для установки измерения и учета расхода сжиженного газа УИЖГЭ 50 наиболее оптимальным для коммерческих целей является применение расходомера кориолисова типа, так как он имеет возможность измерения возвратной паровой фазы, что повышает точность измерения, а для внутренних измерений в условиях собственного производства возможно использование установки со счетчиком турбинного типа, производимого на ОАО «Промприбор», что является его преимуществом за счет невысокой стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаков, М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств [Текст] / М. В. Кулаков. – М. : Машиностроение, 1983. – 424 с.
2. Колыбенко, Е. Н. Подход к достижению уровня автоматизации в технологии проектных работ машиностроения средствами информационных систем [Текст] / Е. Н. Колыбенко // Вестник машиностроения. – 2006. – № 12. – С. 56-60.

Миронова Анастасия Леонидовна

Ливенский филиал ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г.Ливны
Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: mironova2001@yandex.ru

Гончарова Наталья Ивановна

Ливенский филиал ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г.Ливны
Студент кафедры «Технология машиностроения»

A.L. MIRONOVA, N.I. GONCHAROVA

ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AND CHOICE OF FLOWMETER FOR METERING AND ACCOUNT OF LPG FLOW RATE UIZHGE 50

This article provides a short analysis for technical characteristics of lpg meters. It also tells about perspectives of the oil and gas industry equipment development.

Keywords: OJSC«Prompribor», flowmeter, coriolious flowmeters, 3D-design

BIBLIOGRAPHY

1. Kulakov M.V. Process Measurements and Devices for Chemical Manufacturing [Text]/ M.V. Kulakov.-M.: Mechanical Engineering, pp. 424, 1983.
2. Kolybenko E.N. Approach to achievement of automation level in technology of design works in mechanical engineering by means of information systems// Bulletin of Mechanical Engineering, №12, pp. 56-60, 2006.

Mironova Anastasia Leonidovna

Livny Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC», Livny
Senior Lecturer, Dep. of Mechanical Engineering
E-mail: mironova2001@yandex.ru

Goncharova Natalia Ivanovna

Livny Branch of FSBEI HVT «State University – ESPC», Livny
Fifth-year student, Dep. of Mechanical Engineering
E-mail: mironova2001@yandex.ru

А.Х. НУРКЕНОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ NAXOS PMD 320 НА ОСНОВЕ ОГРАНИЧЕНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛОМ ШЛИФОВАНИЯ

В статье предложен метод повышения эффективности обработки на основе автоматизированной системы управления циклом шлифования с обратной адаптивной связью через прибор активного контроля. Предложена методика на основе применения граничных критериев с целью повышения точности обработки и обеспечения качества конечного изделия и рассмотрен алгоритм работы управляющей программы шлифовального станка с ЧПУ.

Ключевые слова: шлифование, станки с ЧПУ, граничные критерии, алгоритм управления.

Современное динамичное машиностроение, оснащенное металлообрабатывающим оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ), характеризуется мелкосерийным и единичным типом производства. Высокая точность изготовления деталей машин обеспечивается на финишных операциях, например, при шлифовании.

Процесс обработки осуществляется по базовым циклам шлифования с регулируемой подачей (рис. 1). Требуемый показатель по шероховатости достигается за счет применения мелкозернистых кругов или процесса выхаживания. Применение мелкозернистых кругов приводит к уменьшению производительности, поэтому актуальной является задача разработки эффективного цикла шлифования с конечным выхаживанием. На современных станках с ЧПУ контроль осуществляется в процессе обработки. Результаты показаний контроля являются случайными величинами, т.е. присутствует стохастичность процесса.

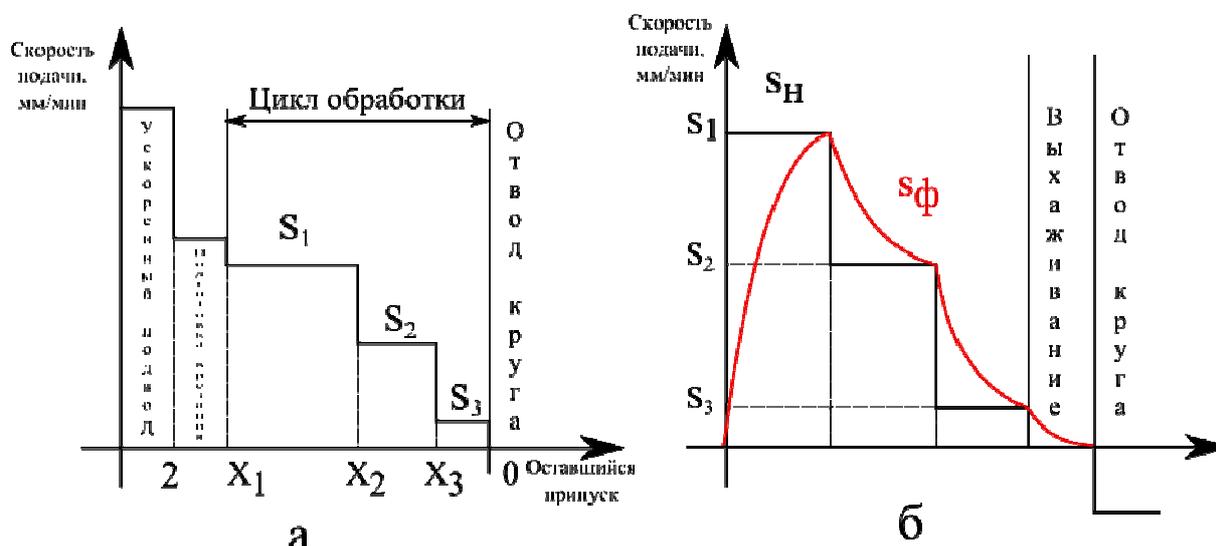


Рисунок 1 – Цикл шлифования с регулируемой подачей
 а - управление по ПАК; б - управление по путевому датчику

Основные исследования по проектированию циклов шлифования и автоматизации процесса обработки на круглошлифовальных станках с программным управлением (ПУ) представлены в работах П.П. Переверзева, Г.Б. Лурье, Б.С. Балакшина, В.И. Суркова [1-4]. В работе В.А. Иголевича [5] предложена методика формирования трехступенчатого цикла шлифования на основе учета переходных процессов через параметр постоянной времени. В работе Ю.И. Манохина [6] предложен метод оптимального управления процессом шлифования с ПАК на основе управления параметром нормальной составляющей силы резания.

В реальных условиях любой технологический процесс осуществляется под воздействием многих случайных возмущений, зависящих от колебаний припуска на обработку, твердости материала, силовых и тепловых деформаций и т.д., что соответственно накладывает ряд ограничений по достижению требуемой точности и качества детали. Классификация факторов, влияющих на точность и качество обработки, произведена в работе З.Ш. Гейлера [7].

На практике эксплуатация круглошлифовальных станков с программным управлением показывает, что программная скорость подачи подбирается наладчиком опытным путем для каждой новой детали. Что приводит к большим материальным и временным затратам, поскольку необходимо провести пробную обработку детали при различных численных значениях программной скорости подачи для каждой ступени цикла при разных распределениях припуска по ступеням цикла.

Одним их вариантов повышения эффективности процесса обработки является расчет контрольных границ управления процессом на базе упреждающего отклонения подачи до достижения заданного диаметра изделия. Для этого необходимо, учитывая разность между программной и фактической подачей, определить податливость технологической системы. Зная величину упругих деформаций и время задержки для отвода круга, сможем рассчитать критерий релаксации, необходимый для процесса выхаживания.

По результатам анализа исследований в области автоматизации процесса шлифования и разработки циклов обработки можно выделить следующие граничные критерии, позволяющие корректировать процесс шлифования:

1) ограничения по температуре в зоне обработки (применительно к инструменту и детали), предложенные А.А. Кошиным [8]

$$P_z V_p \sqrt{\frac{\sqrt{\tau}}{V_a}} \leq \frac{\lambda v_{i\delta}}{2} \sqrt{\frac{\pi(d+D)}{dD}}, \quad (1)$$

$$\frac{V_a S_{i\delta} \sqrt[4]{\tau}}{V_p} \leq \frac{\lambda v_{i\delta} B}{2\alpha k l l_c \sigma_{i\delta}} \sqrt{\frac{\pi}{x} \sqrt{\frac{dD}{d+D}}}; \quad (2)$$

где P_z – суммарное тангенциальное усилие, приходящееся на инструмент;

V_p – скорость резания;

V_a – скорость детали;

U_{np} – предельная температура на поверхности детали;

D – диаметр круга;

d – диаметр детали;

x – функция подогрева;

l_c – длина дуги контакта;

σ_i – сопротивляемость материала деформированию при шлифовании.

2) ограничение по геометрии, осуществляемое через коэффициент исправления эксцентриситета Ю.И. Манохина

$$A_1 = \left\{ \frac{\sqrt{(i - M\omega^2)^2 + d^2\omega^2}}{\sqrt{[i - M\omega(\omega + C_r i)]^2 + d^2(\omega + C_r i)^2}} \right\} \omega; \quad (3)$$

где M – масса шлифовальной бабки;

i – коэффициент жесткости технологической системы;

ω – круговая частота вращения заготовки;

C_r – коэффициент пропорциональности;

d – коэффициент демпфирования.

3) ограничения фактической подачи через параметр постоянной времени В.А. Иголевица

$$T = \left(\frac{\pi d B \sigma_i s_i \tan \beta}{V_k} + \frac{\eta B \sigma_i}{2 C S_o^{0.5}} \sqrt{\frac{Dd}{n(D+d)}} \right) (j(1+\alpha))^{-1}, \quad (4)$$

$$S_{\phi_i} = S_{\phi_{i-1}} - (S_{\phi_{i-1}} - S_{i_i}) e^{-\frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{T}} ; \quad (5)$$

где D – диаметр круга;
 d – диаметр детали;
 σ_i – сопротивляемость материала деформированию при шлифовании;
 B – ширина шлифования;
 V_k – скорость круга;
 S_o – характеристика диапазона подач;
 i – коэффициент жесткости технологической системы;
 n – частота вращения детали;
 S_{ϕ_i} – фактическая подача на i -ой ступени;
 $S_{\phi_{i-1}}$ – фактическая подача на $i-1$ ступени;
 S_{i_i} – номинальная (программная) подача i -ой ступени.

4) расчет времени потребного на ступень выхаживания с учетом разницы в фактической и программной подачи на станке (критерий релаксации)

$$T \cdot \frac{dS_{\phi}}{d\tau} + S_{\phi} = K_c \cdot S_i = 0 , \quad (6)$$

$$\tau_a = -T \ln \frac{S_{\phi i}}{S_i} . \quad (7)$$

где T – постоянная времени ТС;

K_c – коэффициент, характеризующий скорость размерного износа шлифовального круга;
 S_{don} – допустимая скорость съема припуска в момент окончания шлифования.

Основной задачей исследования является разработка автоматизированной системы управления циклом шлифования с обратной адаптивной связью через прибор активного контроля. Алгоритм управления процесса обработки с учетом граничных критериев представлен на рисунке 2.

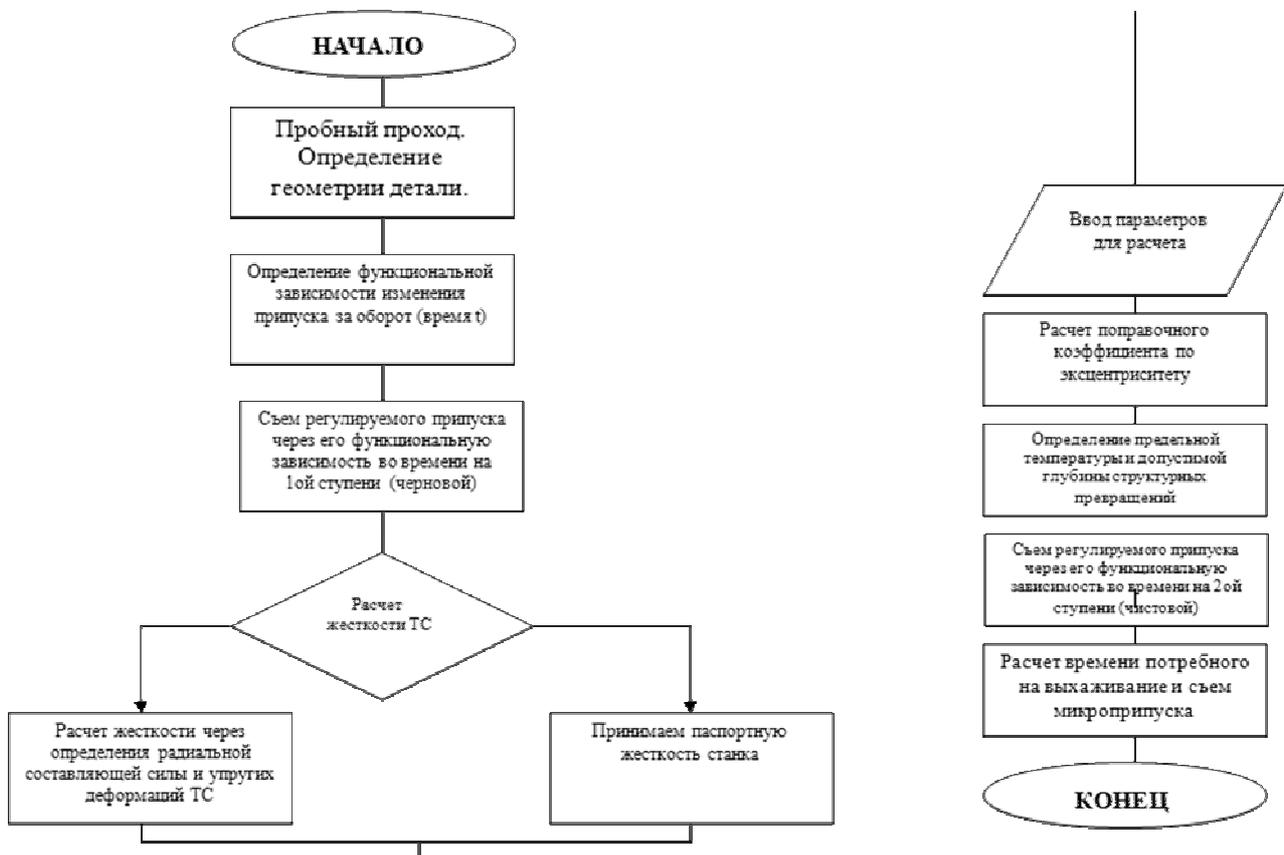


Рисунок 2 – Алгоритм управления процесса обработки

Исследования производятся на базе кафедры «Технология машиностроения» Механико-технологического факультета Южно-Уральского государственного университета и на челябинском филиале ОАО «Уралвагонзавод».

С целью апробации исследований предложенной системы управления будет разработана управляющая программа станка для шлифования коленчатых валов длиной до 1250 мм с использованием кругов CBN, с двумя шпинделями для синхронного шлифования коренных и шатунных шеек. На станке осуществляется активный контроль диаметров обрабатываемых шеек методом прямого измерения и при помощи акустической эмиссии, и контроль осевого позиционирования шеек.

Для анализа существующего цикла обработки на станке необходимо отобразить процесс обработки методом IDEF-моделирования и алгоритмически описать взаимосвязи кадровых подпрограмм в управляющей программе (рисунки 3, 4).

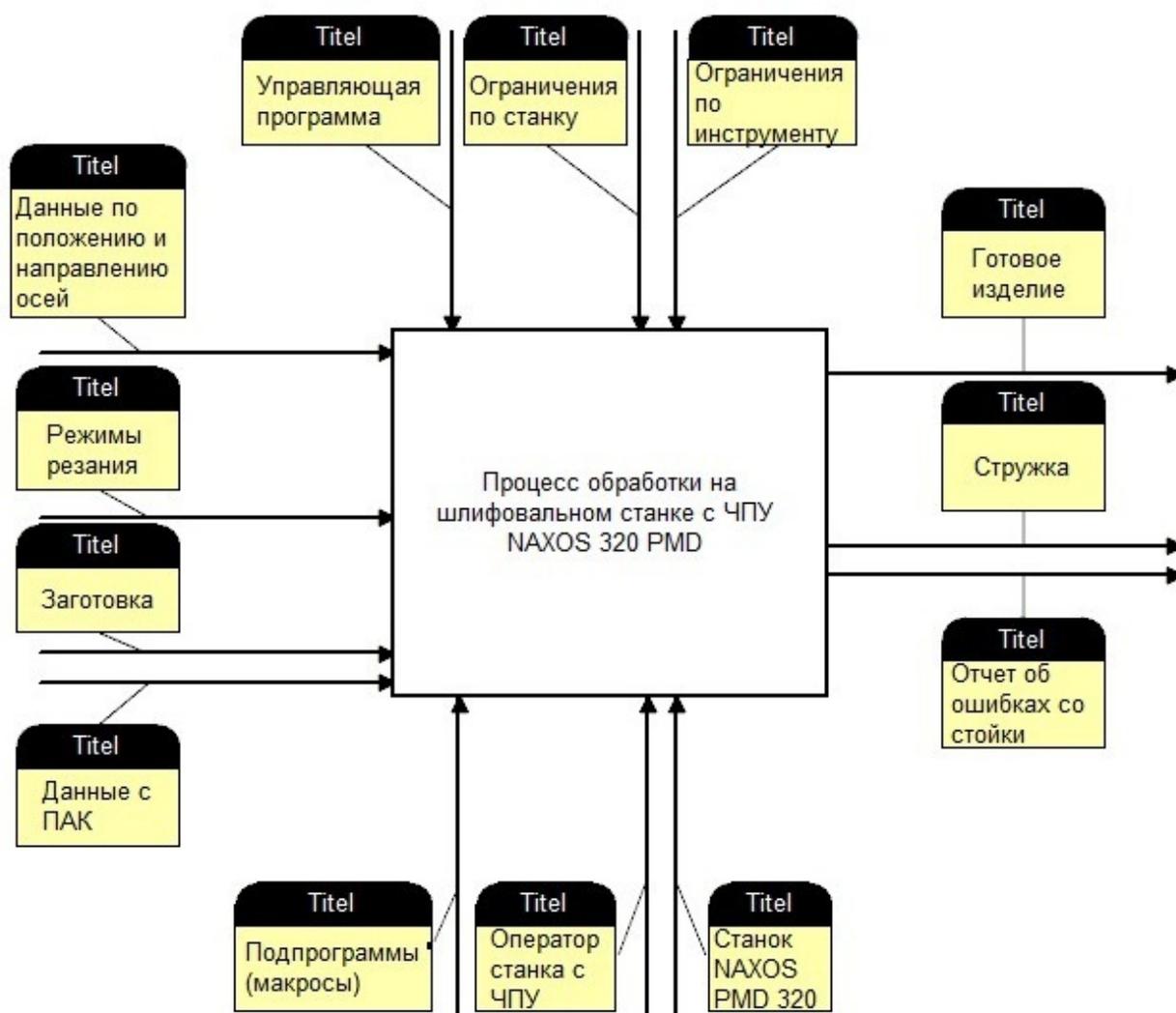


Рисунок 3 – IDEF-модель процесса шлифования

На основе анализа существующего алгоритма управления можно сделать следующие выводы о применимости разрабатываемой автоматизированной системы:

1 Работа в системе ЧПУ станка Sinumerik 840D осуществляется по маскам (шаблонам), что позволяет корректировать часть программы, а не переписывать её полностью.

2 Реализация комплексной модели граничных критериев будет осуществляться связью по управлению в виде подпрограммы в управляющей программе. Для этого необходим дополнительный модуль ввода данных для расчетов, часть которых будет сниматься в процессе обработки, а часть будет исходными параметрами.

3 Основными подпрограммами в управляющей программе являются N_Schleifen.spf (прописывается условия для осевой подачи) и N_Schleifen_RL.spf (прописываются условия для врезной подачи). Помимо этого, корректировка врезной подачей по ПАК осуществляется через подпрограммы N_Messen.spf и N_Sensor.spf.

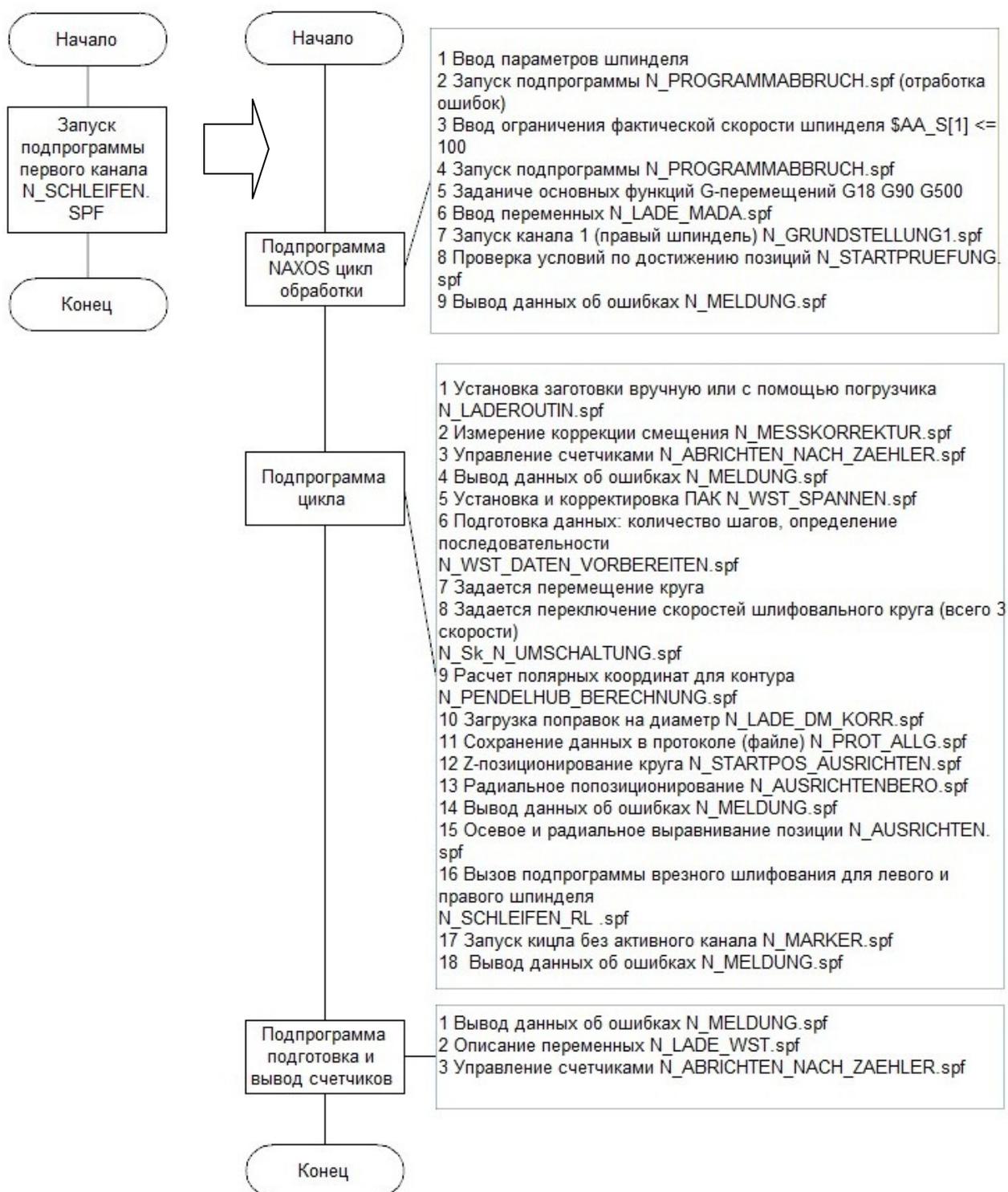


Рисунок 4 – Алгоритм вызова подпрограмм в управляющей программе станка Naxos PMD 320

4 Перспективным методом реализации ступенчатых циклов с учетом разработанных ограничений является задание параметров цикла подпрограммой N_Cycle406.spf, N_Cycle407.spf, N_Cycle411.spf, N_Cycle413.spf и N_Cycle414.spf с целью исключения ошибок при изменении макросов управляющей программы.

Следующим этапом, требующим реализации, является комплексная оптимизация процесса шлифования на основе рассмотренных критериев, с разработкой пробной управляющей программы, проведением отладки и обработки заготовки, с целью съема показателей для дальнейшего анализа их стохастичности, выявления функциональных ограничений, и расчета предупредительных границ переключения подачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переверзев, П. П. Применение метода динамического программирования для оптимизации автоматических циклов круглого продольного шлифования [Текст] / П. П. Переверзев, П. В. Шаламов // Прогрессивные технологии в машиностроении : темат. сб. науч. тр. – Челябинск : ЮУрГУ, 2000. – С. 22-24.
2. Лурье, Г. Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования [Текст] / Г. Б. Лурье; под ред. Л. Н. Филимонова. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1984. – 103 с.
3. Базров, Б. М. Адаптивное управление станками [Текст] / Б. М. Базров, Б. С. Балакшин, И. М. Баранчукова [и др.]; Под ред. Б. С. Балакшина. – М. : Машиностроение, 1973. – 688 с.
4. Сурков, В. И. Исследование точности средств активного контроля в граничных условиях [Текст] / В. И. Сурков, И. В. Тетенов // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки : темат. сб. науч. тр. – Челябинск : ЧПИ, 1984. – С. 62-64.
5. Иоголевич, В. А. Повышение производительности и точности обработки на круглошлифовальных станках с ЧПУ на основе учета динамических свойств процесса шлифования [Текст] / В. А. Иоголевич : Дис. ... канд. техн. наук / ЧГТУ; ЮУрГУ. – Челябинск : Изд-во ЧГТУ, 1992. – 226 с.
6. Манохин, Ю. И. Повышение эффективности внутреннего врезного шлифования на основе оптимального управления процессом [Текст] / Ю. И. Манохин : Дис. ... канд. техн. наук / Челяб. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола; ЮУрГУ. – Челябинск, 1977. – 223 с.
7. Гейлер, З. Ш. Самонастраивающиеся системы активного контроля [Текст] / З. Ш. Гейлер. – М. : Машиностроение, 1978. – 224 с.
8. Кошин, А. А. Исследование функциональных связей между предельными режимами и тепловыми критериями процессов алмазно-абразивной обработки [Текст] / А. А. Кошин : Дис. ... канд. техн. наук / Челяб. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола; ЮУрГУ. – Челябинск : Б.И., 1974. – 187 с.

Нуркенов Антон Халилович

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: nurkenovah@yandex.ru
Тел: 8-912-774-43-07

A.H. NURKENOV

INCREASING THE EFFICIENCY OF GRINDING ON CNC MACHINES NAXOS PMD 320 BASED ON LIMITATIONS OF COMPLEX GRINDING CYCLE CONTROL MODEL

This paper proposes a method for increasing the effectiveness of manufacturing on the basis of an automated control system with cycle feedback sanding adaptive communication through active control device. A technique based on the use of boundary criteria in order to improve the accuracy of processing and quality assurance of final product and reviewed the algorithm of the CNC grinding machine control program.

Keywords: grinding, CNC machine, boundary criteria, control algorithm.

BIBLIOGRAPHY

1. P.P. Pereverzev, Application of dynamic programming method for optimization of automatic cycles in round longitudinal grinding/P.P. Pereverzev, P.V. Shalamov. Progressive Technologies in Mechanical Engineering: Subject Collection of Scientific Works – Chelyabinsk: South Urals SU, pp. 22-24, 2000.
2. G.B. Lourier, Progressive Methods of Round External Grinding/ Under the Editorship of L.N. Filimonov/G.B. Lourier.-M.: Mechanical Engineering. Leningrad Section, pp. 103, 1984.
3. B.M. Bazrov, Machine Tool Adaptive Control / B.M. Bazrov, B.S. Balakshin, I.M. Baranchukova et alii.;

Under the editorship of B.S. Balakshin.-M.: Mechanical Engineering, pp. 688, 1973.

4. V.I. Surkov, Analysis of active control means accuracy under boundary conditions / V.I. Surkov, I.V. Tenev, Finishing Progressive Technology: Subject Collection of Scientific Works-Chelyabinsk:ChPI, pp. 62-64, 1984.

5. V.A. Iogolevich, Increase of productivity and machining accuracy on round-grinding machines with numerical control based on account of dynamic properties of grinding: Thesis for Can.Sc.tech. Degree: Specialty 05.02.08 – Mechanical Engineering/ChSTU; Scientific Adviser S.N. Korchak; South Urals SU.- Chelyabinsk: Publishing House of ChSTU, pp. 226, 1992.

6. Yu. I. Manokhin, Inner infeed grinding efficiency increase based on optimal control: Specialty 05.02.08 – Mechanical Engineering: Thesis .../ Scientific Adviser M.M. Tverskoy; Lenin Comsomol Chelyab. Polytech. Ins.; South Urals SU.- Chelyabinsk, pp. 223, 1977.

7. Z.Sh. Geiler, Self-adjusting Systems of Active Control/Z.Sh. Geiler.-M.: Mechanical Engineering, pp. 224, 1978.

8. A.A. Koshin, Researches of functional ties between limiting behaviors and thermal criteria of diamond-abrasive machining processes: Thesis for Degree of Can.Sc.tech.: Specialty 05.02.08 – Mechanical Engineering/A.A. Koshin; Len. Com. Chelyab. Polytech.Ins.; South UralsSU.-Chelyabinsk:B.I. , pp. 187, 1974.

Nurkenov Anton Halilevich

South-Urals State University, Chelyabinsk

Post graduate student, Dep. of Mechanical Engineering

Phone: 8-912-774-43-07

УДК 621.941.01

И.С. КАРТАВЦЕВ

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ И ПОДНАЛАДКИ СТАНКА С ЧПУ

Предлагается модель процесса контроля и подналадки станка с ЧПУ, позволяющая в режиме реального времени оптимизировать удельные затраты, учитывающие затраты на контроль, коррекцию размера, подналадку в связи с заменой инструмента и брак.

***Ключевые слова:** модель процесса, тип подналадки станка, критерий оптимальности, контрольная карта, линейный износ.*

Рассматривается случай обработки деталей на станке с ЧПУ токарного типа, где в качестве показателя качества используется диаметр обрабатываемой детали $X(t)$, где t – номер обрабатываемой детали (наработка) с момента последней подналадки станка. Получаемый размер должен находиться в пределах поля допуска, то есть:

$$X^- \leq X(t) \leq X^+,$$

где X^- – нижняя граница поля допуска;

X^+ – верхняя граница поля допуска.

Выход $X(t)$ за границы поля допуска означает брак первого вида, если $X(t) < X^-$ или второго вида, если $X(t) > X^+$.

Из-за износа резца диаметр каждой следующей обработанной детали изменяется на величину ΔX , а размер, получаемый в процессе обработки, можно представить в виде линейной функции [4]:

$$X(t) = X_0 + a \cdot t + \Delta,$$

где X_0 – уровень начальной настройки станка на размер в результате коррекции или подналадки в связи с заменой износившегося резца;

a – среднее изменение диаметра детали в связи, например, с износом резца, приходящееся на одну деталь;

Δ – случайная компонента размера, связанная, например, с колебанием припуска на обработку, колебанием твердости заготовки, погрешностью базирования и др.

Коррекция размерной настройки станка производится периодически, то есть после обработки N деталей (партии). Перед коррекцией контролируется одна или несколько

последних деталей (контролируется выборка из n деталей) и по результатам контроля определяется размер требуемой коррекции, чтобы достичь уровня начальной настройки X_0 .

Чтобы вовремя провести коррекцию или заменить затупившийся резец, необходимо как-то измерять износ резца. Заслуживают рассмотрения такие варианты [5]:

1. На основании априорной информации назначается размер партии, N , величина коррекции после обработки каждой партии h , число партий до замены инструмента m . Привлекательность этого варианта в том, что нет затрат на контроль деталей и инструмента.

2. Контролируется состояние резца после обработки каждой партии. Например, станок с ЧПУ оснащен системой контроля состояния резца или используются внешние средства контроля. По результатам такого контроля принимается решение о размере коррекции или о необходимости замены резца.

3. О состоянии резца и размере необходимой коррекции судят по изменению размера детали после обработки очередной партии. Пусть L максимально допустимый радиальный износ резца, а $h(j)$ – величина j -той коррекции с начала цикла подналадки, то есть после предыдущей замены резца. Следующая замена должна проводиться, когда сумма коррекций S_h достигнет величины L . Точнее условие необходимости замены резца выражается так:

$$S_y(m) \geq L,$$

где:

$$S_h(m) = \sum_{j=1}^m h(j),$$

где $S_h(m)$ – сумма коррекций, включая и предполагаемую, но не выполняемую из-за замены резца;

m – это номер партии, когда сумма S_h впервые превысит L с момента последней подналадки. Соответственно $m \cdot N$ – это наработка резца до замены в штуках обработанных деталей.

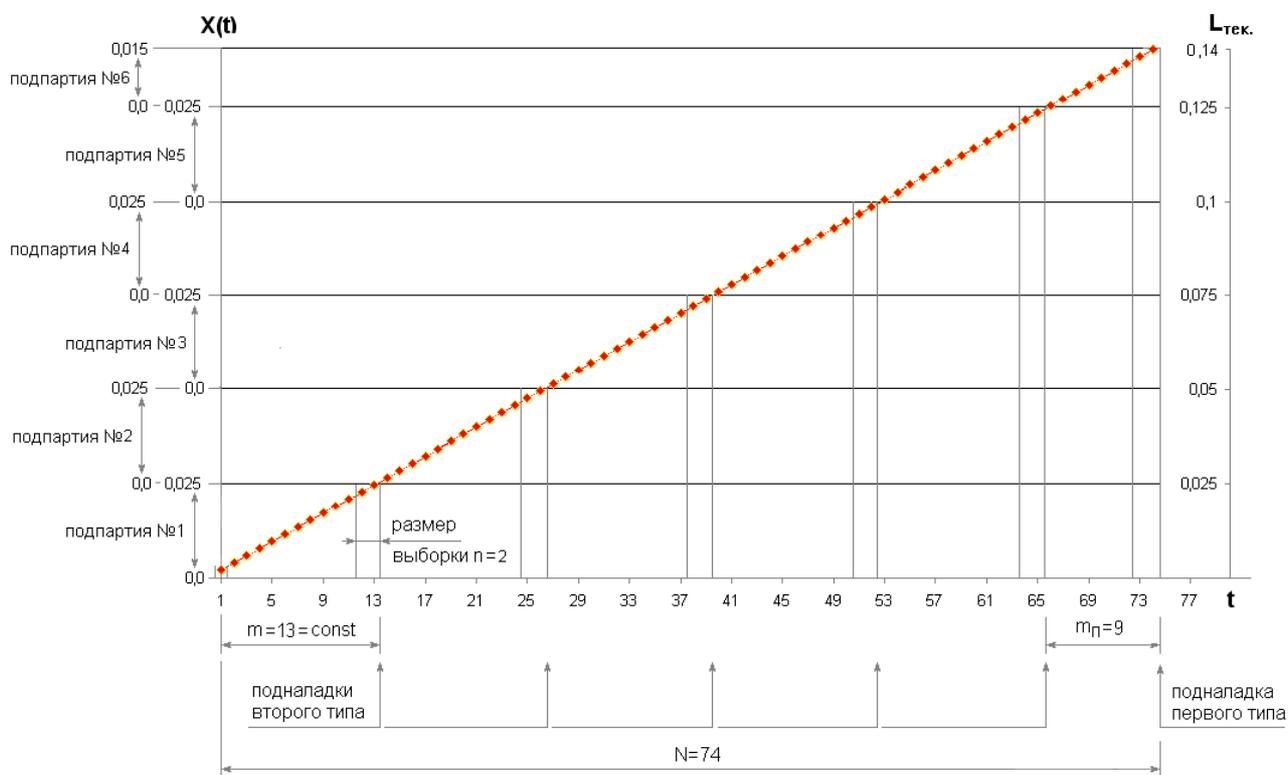


Рисунок 1 – График подналадок станка с ЧПУ совмещенный с графиком линейного износа резца.

Стоит обратить внимание на то, что размер линейного износа резца $L_{л.}$, а, следовательно, и допуск внутри которого происходит изменение контролируемого параметра

для последней подпартии деталей может быть меньше чем допуск на получаемый размер (в рассматриваемом на рисунке 1 примере для подпартии m_6 размер максимально возможного линейного износа резца 0,15 мм вместо 0,25 мм) и определяется тем, что величина максимального линейного износа чаще всего не кратна допуску на обрабатываемый размер.

В этом случае он определяется по формуле:

$$L_{\Pi} = L - \left(L \operatorname{div} (X^+ - X^-) \right) \cdot (X^+ - X^-),$$

На рисунке 1 изображен случай обработки детали “Вал тихоходный” 10.5.1-А.001 (длина обработки резцом $L \approx 400$ мм) на токарном станке с ЧПУ 16А20Ф3 с получаемым размером $\varnothing 35^{+0,025}$ мм (7 квалитет точности) и максимальным линейным износом резца $L_{max} = 0,14$ мм, при аппроксимации тренда размерной настройки станка с ЧПУ, в соответствии с (1), но без учета случайной составляющей в виде:

$$X(t) = 35,002 + 0,00175 \cdot t,$$

На рисунке отчетливо видно, что период между двумя соседними подналадками первого типа (размер партии) N равен 74 шт., а периоды между подналадками второго типа m или подпартии все, кроме последнего (№6), одинокого размера. А размер последней подпартии определяется величиной допустимого в ней линейного износа находимого по (2) и равен как уже было сказано 0,15 мм.

В общем виде задача состоит в том, чтобы выбрать оптимальный размер партии N размер выборки n и величины коррекций $h(j)$. В качестве критерия оптимальности возьмем удельные затраты, определяемые как отношение средних затрат связанных с контролем, коррекцией, заменой резца и затрат на брак обоих видов к средней наработке за цикл подналадки.

Цикл подналадки включает $m-1$ коррекцию, замеров размеров n последних деталей каждой партии (всего $m \cdot n$ замеров) (подналадка 2 типа), одну замену резца с наладкой на начальный размер X_0 (подналадка 1 типа). За цикл обрабатывается $m \cdot N$ деталей (наработка за цикл).

Если c_k – затраты на контроль одной детали, c_{kor} – затраты на одну коррекцию, c_p – затраты на одну подналадку в связи с заменой резца, c_b^-, c_b^+ – затраты на исправления брака первого и второго вида одной детали, то формула для удельных затрат примет вид [3]:

$$\Theta = \frac{c_k \cdot n \cdot \bar{m} + c_{kor} \cdot \bar{m} + c_p + c_b^- \cdot B^- + c_b^+ \cdot B^+}{\bar{m} \cdot N},$$

Здесь приняты обозначения: \bar{m} – среднее число обработанных партий за цикл подналадки; B^-, B^+ – средние числа брака первого и второго вида за тот же цикл.

Рассмотрим подробнее вопрос о размере коррекции $h(j)$. Если контролируется только последняя деталь партии ($n=1$), то разумно брать:

$$h(j) = X_j(N) - X_0,$$

где $X_j(N)$ – размер N -ой детали j -той партии цикла подналадки.

Если контролируются несколько последних деталей ($n > 1$), то:

$$h(j) = a_j \cdot N,$$

где

$$a_j = \frac{\sum_i (X_j(t) - X_0) \cdot t}{\sum_i t^2};$$

$$t = N - n + 1..N,$$

Такая оценка a_j получается по методу наименьших квадратов с использованием n размерам последних деталей j -той партии цикла подналадки.

К направлению дальнейшего исследования можно отнести более точное определение функции $X(t)$ благодаря введению коэффициента c , характеризующего изменение стойкости

твердосплавной инструментальной пластинки при её замене во время подналадки станка, что приводит функцию (1) к виду:

$$X(t) = X_0 + c \cdot a \cdot t + \Delta,$$

Особый интерес представляет определение закона распределения величины c т.к. она по определению не может быть отрицательной a , следовательно, распределенными по нормальному закону, а так же по любому другому закону, имеющим отрицательную ветвь. Исходя из этого, а также анализа научной литературы [2, 5] резонно предположить, что для описания величины c можно использовать распределение Вейбула, применяемое для описания работы инструмента на отказ.

Рассмотренные модели позволяют находить оптимальное количество коррекций размерной настройки станка, а так же их величин, что в свою очередь позволяет полностью вырабатывать ресурс режущего инструмента и, следовательно, минимизировать затраты на него, что в сочетании с уменьшением затрат на текущий контроль продукции позволит найти более близкий к глобальному локальный минимум функции затрат на контроль и производство продукции (функции Θ).

Основные выводы

1. Разработаны модели процесса контроля и подналадки станка с ЧПУ учитывающие особенности наличия или отсутствия начальной статистической информации о размерной настройке станка, наличия измерительной системы на оборудовании, а так же ряд других факторов.

2. Рассмотрен ряд существенных аспектов, таких как: период подналадки станка, модель процесса подналадки, тип подналадки станка и т.д., характеризующих взаимосвязи между основными параметрами процесса определения получаемого размера, параметров текущего контроля и периода подналадки станка с ЧПУ.

3. Определено направление дальнейших исследований: более точное определение функции $X(t)$ благодаря введению коэффициента c , характеризующего изменение стойкости твердосплавной инструментальной пластинки при её замене во время подналадки станка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с. : ил.
2. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Гостехиздат, 1956. – 610 с.
3. ГОСТ Р 50779.40–96. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение [Текст]. – Введ. 1997. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
4. Картавец, И. С. Моделирование процесса подналадки станка с ЧПУ [Текст] / И. С. Картавец // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.– Тула : ТулГУ, 2012. – Вып. №2. – С. 282-292.
5. Пасько, Н. И. Математическая модель контроля размерной настройки станка с ЧПУ по методу контрольной карты [Текст] / Н. И. Пасько, И. С. Картавец // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула : ТулГУ, 2012. – Вып. №2. – С. 292-301.
6. Миттаг, Х. Й. Статистические методы обеспечения качества [Текст] : пер. с нем. / Х. Й. Миттаг, Х. Ринне. – М. : Машиностроение, 1995. – 616 с.
7. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин–Барковский. – М. : Наука, 1965. – 512 с.

Картавец Иван Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
Аспирант кафедры «Автоматизированные станочные системы»
Тел. (4872) 23-95-39, 8-920-740-22-89
E-mail: ivan_2la@mail.ru

I.S. KARTAVTSEV

NC MACHINE CONTROL AND ADJUSTMENT PROCESS MODEL

A model for NC machine control and adjustment process which enables real-time optimization of specific costs including the control costs, the dimension correction costs, and the adjustments cost due to tool replacement, and the defect costs has been proposed.

Keywords: *process model, machine adjustment type, optimality criterion, inspection sheet, linear wear.*

BIBLIOGRAPHY

1. A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, *Mechanician-Technologist's Reference Book*, in 2 Vol., Vol.1/ Under the Editorship of A.G. Kosilova and R.K. Meshcheryakov, 4-th Edition, -M.: Mechanical Engineering, pp. 656, 1986.
2. I.N. Bronstein, K.A. Semendyaev, *Mathematical Reference Book for Engineers and Students of Technical Colleges*.-M.: Statetechedit, pp. 610, 1956.
3. Standard GOST R 50779.40-96, *Statistical Methods. Control Cards, General Guide and Introduction*. Text.- Introd.1997.-M.: Publishing House of Standards, pp. 20, 1996.
4. I.S. Kartavtsev, Modeling processes of numerical control machine tool set-up // *Transactions of Tula State University. Engineering Sciences*. 2-nd Issue.-Tula.:SU, pp. 282-292, 2012.
5. N.I. Pasko, I.S. Kartavtsev, Simulator of numerical control machine tool set-up control by control card method//*Transactions of Tula State University. Engineering Sciences*. 2-nd Issue.-Tula: TulSU, pp. 292-301, 2012.
6. H.J. Mittag, *Statistical Methods of Ensuring Quality*. Text/H.J. Mittag, H. Rinne, Transl. from Germ.-M.: Mechanical Engineering, pp.616, 1995.
7. N.V. Smirnov, I.V. Dunin-Barkovsky, *Course of Probability Theory and Mathematical Statistics*.-M.: Science, pp.512, 1965.

Kartavtsev Ivan Sergeevich

FSBEI HVT «Tula State University», Tula
Department: Automated Manufacturing Systems
Phone. (4872) 23-95-39, 8-920-740-22-89
E-mail: ivan_2la@mail.ru

Е.В. ПАХОЛКИН, Н.И. СЕЛИФАНОВА

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрена возможность использования температурных зависимостей параметров диэлектрической проницаемости при определении качества моторных масел. В качестве признака деструкции масла рассмотрено присутствие в нем неорганической кислоты.

Ключевые слова; время релаксации, динамическая вязкость, комплексная диэлектрическая проницаемость, диэлектрические дисперсионные параметры.

Описание задачи. Диэлькометрический метод контроля обладает следующими преимуществами: сравнительная простота технической реализации, экономичность и надежность приборов на его основе. При этом существует целый ряд проблем, которые ограничивают применение данного метода. Одной из задач является совершенствование способов обработки измерительной информации с переходом от измерения собственно диэлектрической проницаемости как интегрального параметра, к отдельным параметрам диэлектрической проницаемости, которые позволяют получить больший объем диагностической информации.

В частности известен подход по повышению достоверности метода за счет анализа дисперсии диэлектрической проницаемости и потерь в частотной области. Подход основан на том, что для различных веществ данные характеристики являются сугубо индивидуальными, что, в свою очередь, создает предпосылки к распознаванию компонентов в смеси. Сложность использования данного способа заключается в том, что измерения приходится выполнять в высокочастотной области, а это связано с техническими трудностями реализации метода. Достаточно привести пример невозможности использования стандартных измерительных ячеек в совокупности с серийными измерительными средствами (например, с кушетром, нижний диапазон которого – 30 МГц), так как конструкция ячейки и соединительные кабели на данных частотах формируют иную электрическую схему замещения, т.е. измерительная ячейка не является конденсатором, а формальный результат измерения выражается в отрицательном значении емкости.

Сдвиг частотного диапазона в нижнюю область не только упростил бы процедуру измерения, но и позволил бы перейти к использованию более простых схемотехнических решений, в частности, высокочастотных мостовых измерительных схем. В данном случае возникает другая проблема – низкая чувствительность метода, так как в данном частотном диапазоне существенного изменения дисперсии диэлектрической проницаемости и потерь при изменении частоты не наблюдается.

Предлагаемое решение. Комплексная диэлектрическая проницаемость представляется в виде:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

где ε' – действительная часть диэлектрической проницаемости вещества;

ε'' – мнимая часть диэлектрической проницаемости.

Диэлектрические дисперсионные параметры зависимости ε' и ε'' от круговой частоты ω описываются уравнениями Дебая:

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}; \quad \varepsilon'' = \frac{\varepsilon - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} \cdot \omega \cdot \tau, \quad (2)$$

где ε_∞ – предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость;

ε – предельная низкочастотная диэлектрическая проницаемость;

τ – макроскопическое время релаксации.

Последний параметр можно рассматривать как индивидуальную характеристику для различных веществ, которая определяет вид частотных зависимостей (2). При этом известно [1], что макроскопическое время τ релаксации определяется не только отдельными характеристиками веществ, но также имеет выраженную температурную зависимость:

$$\tau(T) = \frac{4 \cdot \pi \cdot a^3 \cdot \mu(T)}{K \cdot T} \quad (3)$$

где a – радиус молекулы вещества;

$\mu(T)$ – зависимость динамической вязкости от абсолютной температуры T ;

K – постоянная Больцмана.

В качестве динамической вязкости $\mu(T)$ следует подставлять вязкость среды, в данном случае – моторного масла. Экспериментальные данные зависимости динамической вязкости веществ от температуры являются справочными данными [2]. Необходимо отметить, что параметры ε и ε_∞ также зависят от температуры, но данные зависимости представляются менее существенными, что для упрощения модели позволяет ими пренебречь.

Использование рассмотренных выражений позволяет получить графики, представленные на рисунках (1) – (7). При этом в качестве исследуемой смеси принята модель масла – смесь углеводородной основы (например, циклогексан) и неорганической кислоты (например, серной).

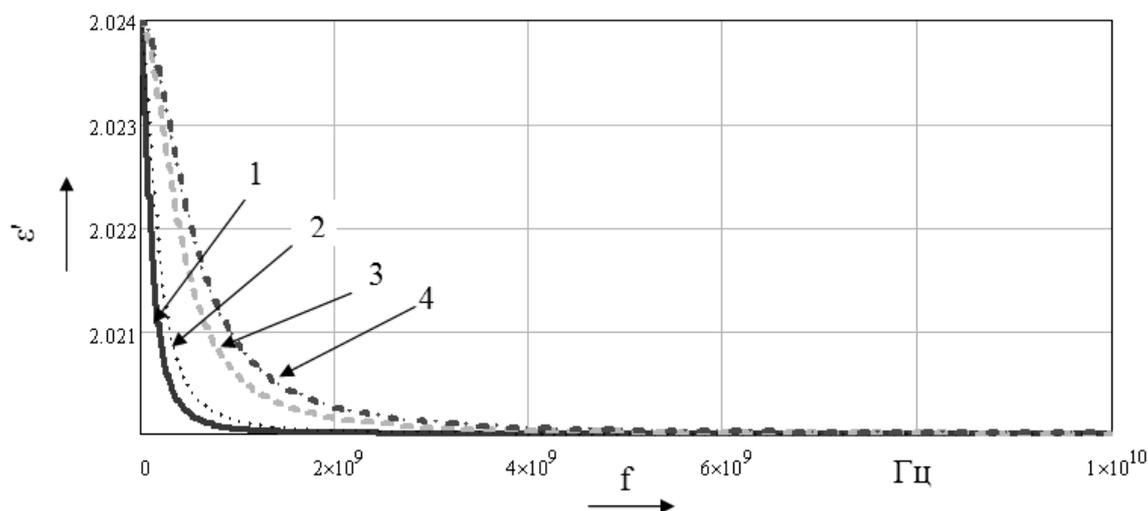


Рисунок 1 – График зависимости диэлектрической проницаемости циклогексана от частоты:
1 – при 0 °C, 2 – при 20 °C, 3 – при 50 °C, 4 – при 80 °C

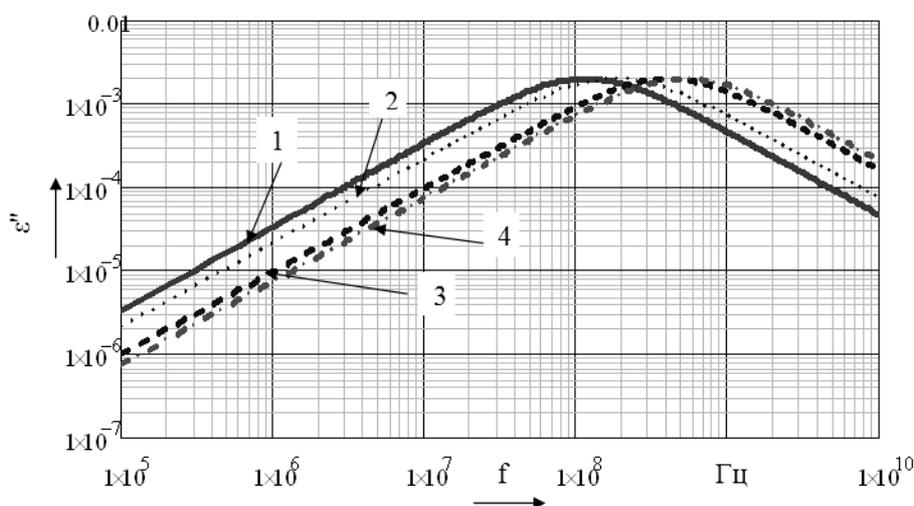


Рисунок 2 – Графики зависимости диэлектрических потерь циклогексана от частоты:
1 – при 0 °C, 2 – при 20 °C, 3 – при 50 °C, 4 – при 80 °C

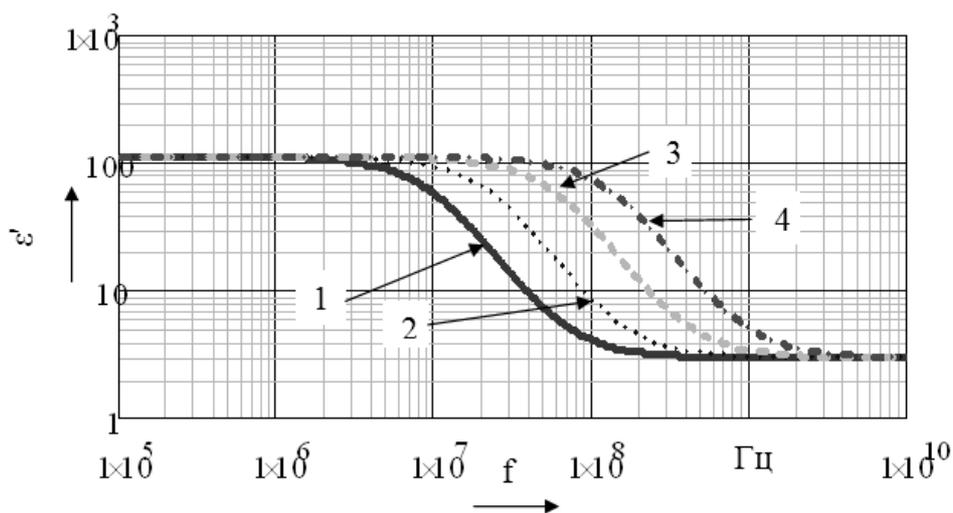


Рисунок 3 – График зависимости диэлектрической проницаемости серной кислоты от частоты: 1 – при 0 °С, 2 – при 20 °С, 3 – при 50 °С, 4 – при 80 °С

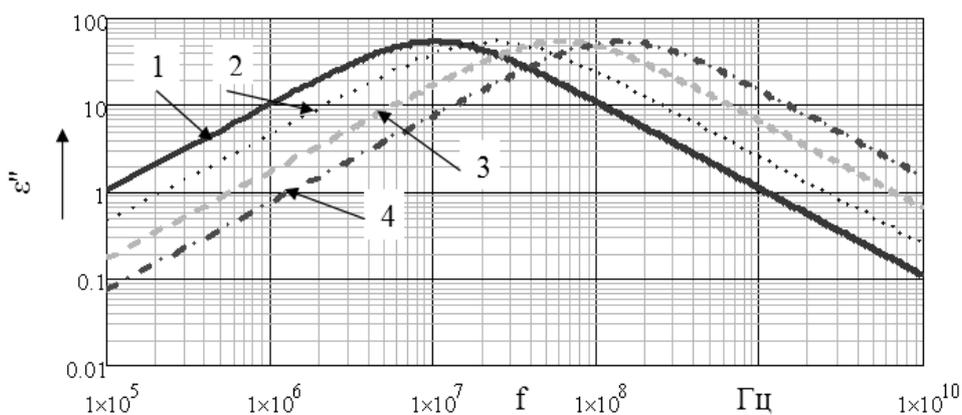


Рисунок 4 – График зависимости диэлектрических потерь серной кислоты от частоты: 1 – при 0°С, 2 – при 20°С, 3 – при 50°С, 4 – при 80°С

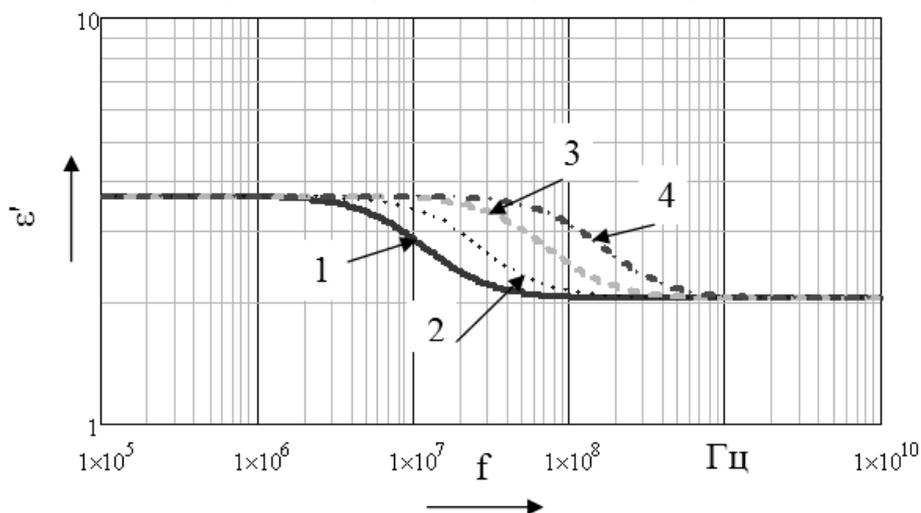


Рисунок 5 – График зависимости диэлектрической проницаемости смеси (циклогексан + 1,5% серной кислоты) от частоты: 1 – при 0°С, 2 – при 20°С, 3 – при 50°С, 4 – при 80°С

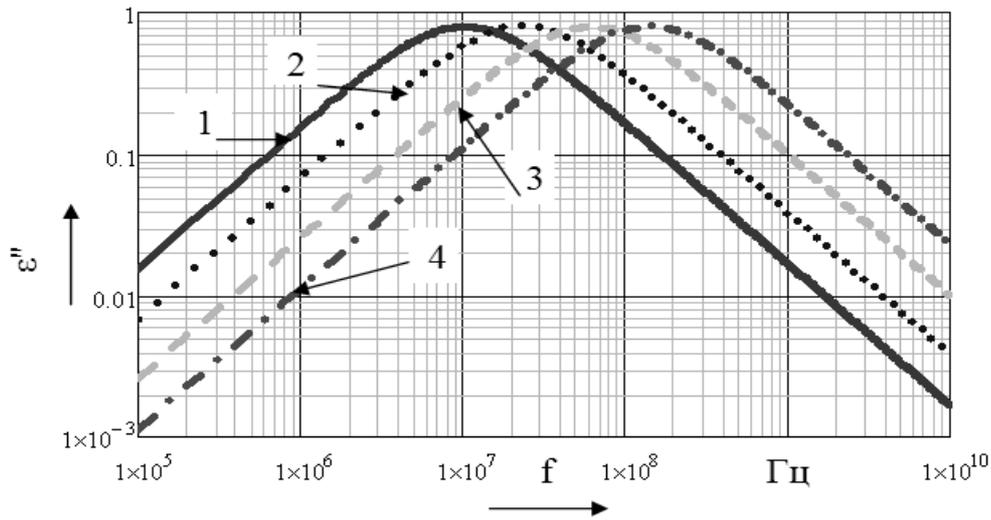


Рисунок 6 – График зависимости диэлектрических потерь смеси (циклогексан + 1,5% серной кислоты) от частоты: 1 – при 0°C, 2 – при 20°C, 3 – при 50°C, 4 – при 80°C

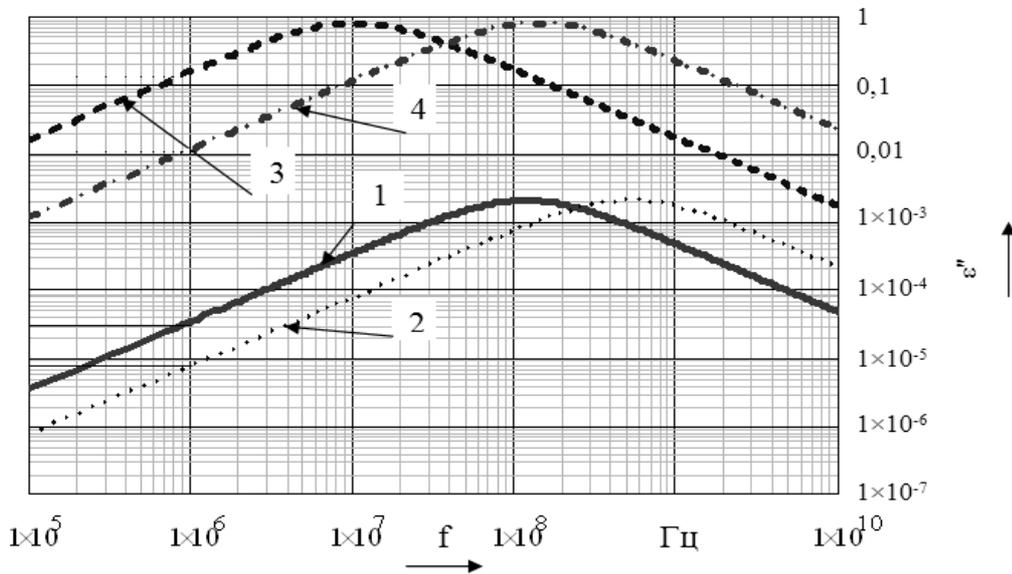


Рисунок 7 – График зависимости диэлектрических потерь: циклогексана от частоты 1 – при 0 °С и 2 – при 80 °С, смеси (циклогексан + 1,5 % серной кислоты) 3 – при 0 °С и 4 – при 80 °С

Обсуждение результатов моделирования. Из приведенных зависимостей, прежде всего, видно, что с точки зрения повышения чувствительности метода целесообразно переходить к анализу потерь, как диагностического параметра. Сравнение рисунков показывает, что изменение значения потерь при температурном влиянии на объект исследования для базовой основы (циклогексан, рис. 2) является несущественным и находится в диапазоне 10^{-6} – 10^{-5} (на частоте 10^5 Гц), т.е. изменение параметра менее одного порядка. Измерение в данном диапазоне практически невозможно: например, точность и нижний предел измерения серийно выпускаемого прибора «Тангенс – 3М», обладающего сравнительно высокими метрологическими характеристиками, решить рассматриваемую измерительную задачу не позволяют. Однако, появление в базовой основе серной кислоты в указанном объеме приводит к тому, что диапазон потерь существенно увеличивается (10^{-3} – 10^{-1} на той же частоте), а само изменение параметра составляет уже более порядка (рис. 7).

Необходимо отметить, что представленная в работе модель является существенно упрощенной, как с точки зрения математического описания, так и с точки зрения представления объекта исследования (моторное масло представляет собой существенно более сложную смесь). Тем не менее, полученные результаты создают перспективу для разработки ме-

тогда контроля процессов деструкции масел, физический принцип которого заключается в существенно различном изменении диэлектрических потерь для базовой основы масла (предельные углеводороды) и продуктов деструкции при проведении измерений параметра при различных значениях температуры. Немаловажной также является возможность перехода к использованию более простых методов и средств измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахадов, Я. Ю. Диэлектрические свойства бинарных растворов [Текст] : Справочник / Я. Ю. Ахадов. – М.: Наука, 1977.
2. Динамические коэффициенты вязкости жидких веществ и водных растворов в зависимости от температуры [Электронный ресурс] // Нефть-газ электронная библиотека – Таблицы физико-химических постоянных. – Режим доступа: <http://www.oglib.ru/tab1/table4.html>.

Пахолкин Евгений Васильевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г.Орёл
Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры "Приборостроение, метрология и сертификация"
Тел. +7(4862)41-98-76
E-mail: Eugene_P@bk.ru

Селифанова Наталия Ивановна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г.Орёл
Магистрант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Телефон: +7(4862)41-98-76
E-mail: nataska-s@ya.ru

E.V. PAKHOLKIN, N.I. SELIFANOVA

WAY OF INCREASE OF SENSITIVITY OF THE METHOD OF DIELECTRIC PERMEABILITY IN RESEARCH OF COMPOSITION OF LUBRICANTS

In article possibility of use of temperature dependences of parameters of dielectric permeability is considered at determination of quality of engine oils. As a sign of a decomposition of oil presence at it inorganic acid is considered.

Keywords: *relaxation time, dynamic viscosity, complex dielectric permeability, dielectric dispersive parameters.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ahadov, Ya.Yu. Dielectric properties of binary solutions. Reference book [text]. - Moscow: Nauka, 1977.
2. Dynamic viscosity coefficient of liquids and water solutions, depending on the temperature [electronic resource] // Oil, Gas Electronic Library - Tables of physical and chemical constants - Access mode: <http://www.oglib.ru/tab1/table4.html> .

Pakholkin Evgeniy Vasilyevich

State University – Education Science Production Complex, Orel
Candidate of technical science, associate professor, associate professor of department. of Instrument-making, Metrology and Certification
Tel. (4862) 41-98-76
E-mail: Eugene_P@bk.ru

Selifanova Nataliya Ivanovna

State University – Education Science Production Complex, Orel
Student of department. of Instrument-making, Metrology and Certification
Tel. (4862) 41-98-76
E-mail: nataska-s@ya.ru

Адрес учредителя

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 42-00-24
Факс (4862) 41-66-84
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Симаков А.А.
Компьютерная верстка Симаков А.А.

Подписано в печать 28.04.2012 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10,4.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.