

Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

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
Астафьев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Каричек 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.

Редакция

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-корр. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубицкий 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.
Малинин 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
Расповов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск:
Морозова А.В. к.с.н.

Адрес редакции
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,
43-48-90
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

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

Подписной индекс 29504
по объединенному каталогу «Пресса
России»

© Госуниверситет – УНПК, 2012

Содержание

Машиностроительные технологии и инструменты

Артамонов В.Д., Кондрашов В.А. Исследование возможностей управления параметрами процесса обкатывающего зубопроотягивания цилиндрических колес.....	3
Бардинов С.Н. Повышение эффективности ремонта лопаток ротора КВД.....	10
Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушников А.В. Особенности формирования режущими и червячными инструментами профиля детали, очерченного дугами окружности.....	15
Вайнер Л.Г. Методология построения модели реального формообразования в процессе съема припуска на примере шлифования торцевых поверхностей.....	21
Валиков Е.Н., Белякова В.А. Прогрессивный способ чистовой обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес.....	28
ИНОЗЕМЦЕВ А.Н., ПАСЬКО Н.И., АНЦЕВ А.В. Автоматизированное управление режимами резания на основе применения самообучающихся систем.....	33
Канатников Н.В., Харламов Г.А. Влияние угла наклона тыловой кройки зубострогальных резцов на силу резания.....	40
Катунин А.В. Соотношение формы первоначального контакта и характеристик фазы врезания при прерывистом резании.....	46
Маликов А.А., Сидоркин А.В., Янников А.С. Комплексная технология изготовления шевера-прикатника для обработки цилиндрических колес с круговыми зубьями.....	53
Рыбак Л.А., Чичварин А.В., Мамаев Ю.А., Гапоненко Е.В. Синтез системы управления одно- и двухсекционного манипуляторов с параллельной кинематикой.....	60
Трухина М.В., Провоторов М.В. Упрочняющее наномодифицирование лаковых покрытий.....	69

Моделирование технологических процессов

Гусев В.Г., Лазарев А.В., Селиванов А.М. Моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерении отверстий в программе cosmos works.....	82
Ермаков И.Е. Изучение процесса гидроабразивного резания путём моделирования на основе сеточно-характеристических численных методов.....	87
Кирилин С.В. Моделирование алгоритма управления автоматизированными информационно-измерительными системами коммерческого учета электроэнергии.....	95
Копылов Ю.Р., Копылов С.Ю. Трёхмерное моделирование виброударного упрочнения с использованием программной платформы CUDA.....	100
Саввин В.В., Киричек А.В., Афонин А.Н. Моделирование накатывания внутренних трапецидальных резьб методом конечных элементов.....	106

Конструирование, расчеты и материалы

Анцев В.Ю., Витчук П.В. Расчет параметров канатоведущего шкива лифта в процессе износа.....	112
---	-----

Машины, аппараты, технологии легкой и пищевой промышленности

Абрамов А.В., Родичева М.В. Современные подходы к оценке эффективности средств индивидуальной защиты в условиях ветра.....	119
Корякин В.П., Николаева М.А., Матвеева Т.В., Сапронова Н.П. Изменение реологических характеристик креккерного теста с заменой части пшеничной муки кукурузной.....	132

Инновации и кадры в машиностроении

Иванов В.П. Вклад Н.Н. Поликарпова в развитие авиационной науки, техники и технологий.....	138
Морозова А.В., Тарасов Д.Е., Ермаков И.Е. Системный подход к формированию стратегических задач повышения конкурентоспособности профильного вуза университетского комплекса.....	142
Цуканова Н.Е. Направления разработки и формирования инновационной стратегии развития предприятия.....	148

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.

Smolenzhev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Morozova A.V. Can. Sc. Soc.

Address

302020 Orel,

Naugorskoye Chosse, 29

(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,

43-48-90

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

Machine building technology and toolware

<i>Artamonov V.D., Kondrashov V.A. Research of opportunities of maneuvering of parameters of process generation tooth-broaching of cylindrical wheels.....</i>	3
<i>Bardinova S.N. Increasing of the hpc rotor blades repair effectiveness.....</i>	10
<i>Boriskin O.I., Stakhanov N.G., Hludov S.J., Jakushenkov A.V. Specificity of formation of the profile of the detail outlined by arches of the circle at work as lath and worm tools.....</i>	15
<i>Vainer L.G. The methodology of creation of the model of real form-shaping in allowance removal process on example of the face grinding.....</i>	21
<i>Valicov E.N., Bebyakova V.A. Progressive mode of definitive processing of teeth of cylindrical cog-wheels.....</i>	28
<i>Inozemtsev A.N., Pasko N.I., Antsev A.V. Cutting mode automatic control system based on using self-learning system.....</i>	33
<i>Kanatinikov N.V., Harlamov G.A. Influence of a tilt angle a rear edge of a reciprocating gear cutter on cutting force.....</i>	40
<i>Katunin A.V. Ratio of initial contact form and characteristics of incision phase at fluttering cutting.....</i>	46
<i>Malikov A.A., Sidorin A.V., Yamnikov A.S. Complex manufacturing techniques sheave-rolling for handling of cylindrical sprockets with circular teeth.....</i>	53
<i>Rybak L.A., Chichvarin A.V., Mamaev Y.A., Gaponenko E.V. Synthesis of muse control systems one- and two section manipulator with parallel kinematics.....</i>	60
<i>Trukhina M.V., Probatorov M.V. Hardening nanomodification of lacquer coatings.....</i>	69
<i>Khimukhin S.N., Astapov I.A., Teslina M.A., Gostischev V.V., Hosen Ri., Ri E.H. Synthesis of alloys based on nickel aluminides.....</i>	75

Process modeling

<i>Gusev V.G., Lazarev A.V., Selivanov A.M. Elastic deformations modelling of cutting plates at aperture mashing in program cosmos works.....</i>	82
<i>Ermakov I.E. Investigation of a hydro-abrasive erosion by modeling based on grid-characteristic numerical methods.....</i>	87
<i>Kirilin S.V. Modelling of algorithm for automatic control of automated information-measuring systems for electrical energy accounting.....</i>	95
<i>Kopylov Y.R., Kopylov S.J. Vibro-impact simulation of three-dimensional hardening of the use of program cuda platform.....</i>	100
<i>Savvin V.V., Kirichek A.V., Afonin A.N. Modelling of internal trapezoidal thread rolling finite element method.....</i>	106

Construction, calculation, material

<i>Antsev V.Y., Vitchuck P.V. Calculation of elevator's cable sheave parameters during wear process.....</i>	112
--	-----

Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Abramov A.V., Rodicheva M.V. Modern approaches to an assessment of efficiency of special clothes in the conditions of a wind.....</i>	119
<i>Koryachkin V.P., Nikolaeva M.A., Matveeva T.V., Sapronova N.P. Change of rheological characteristics of kreknogo of dough with replacement of the part of wheat flour corn.....</i>	132

Innovation and personnel in engineering

<i>Ivanov V.P. N.N. Polikarpov contribution to the development of aviation science, airplanes and technology.....</i>	138
<i>Morozova A.V., Tarasov D.E., Ermakov I.E. Competitiveness increase problems of the strategic system development in a cross-sectional higher education institution of the university complex.....</i>	142
<i>Tsukanova N.E. Areas of development and formation innovative strategies for enterprise development.....</i>	148

В.Д. АРТАМОНОВ, В.А. КОНДРАШОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ОБКАТЫВАЮЩЕГО ЗУБОПРОТЯГИВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

В статье рассматривается возможность управления процессом обкатывающего зубопротягивания дисковыми резовыми головками на основе выравнивания толщин срезаемых слоев за счет неравномерного расположения резов в инструменте.

Ключевые слова: зубонарезание, модель, метод обката, параметр, резовая головка, схема резания.

В современной специальной литературе приводятся данные о том, что наряду с традиционными путями повышения эффективности зубообработки (повышение скорости резания, величины подачи, сокращение пути резания и др.), в последнее время все более актуальным становится направление, связанное с управлением различными параметрами процессов обработки зубчатых колес.

Анализ схемы резания позволяет сделать вывод, что главной характерной особенностью формообразования зубчатых профилей цилиндрических колес по методу обката является неравномерность скорости относительного формообразующего движения зуба производящей рейки V_{ϕ} относительно заготовки. В результате в процессе формирования впадины зубчатого колеса меняются форма и параметры срезаемых слоев металла (объем – V , площадь – F и толщина срезаемого слоя – a) и, как следствие, оказываются непостоянными динамические характеристики процесса зубонарезания, в частности, нестабильный силовой режим резания.

Еще одной важной особенностью схемы формообразования зубчатых профилей по методу обката является наличие определенных соотношений между параметрами срезаемых слоев металла (объемом, площадью и толщиной среза) и величиной силы резания P_z .

Следующей характерной особенностью схемы формообразования зубчатых профилей методом обката является неравномерность загрузки режущих кромок зуба производящей рейки. Из схемы резания следует, что слои металла максимальной толщины срезаются периферийными режущими кромками, а боковые кромки загружены в значительно меньшей степени. Следовательно, толщины срезаемых слоев целесообразно определять в первую очередь именно для периферийных режущих кромок инструмента.

Важной особенностью схемы формообразования зубчатых профилей по методу обката является различие стадий заглабления и выхода зуба производящей рейки во впадине обрабатываемого зубчатого колеса с точки зрения объема удаляемого металла и площади вырезаемой впадины. Это дает основание условно разделить весь цикл вырезания каждой впадины зубчатого колеса на два этапа: от начала обработки до момента максимального заглабления зуба производящей рейки во впадину и от данного момента до окончания профилирования впадины на выходе. Очевидно, что определение параметров процесса и схемы резания, в частности, толщин срезаемых слоев, необходимо осуществить, прежде всего, на первом этапе вырезания впадины.

Следующей характерной особенностью схемы формообразования зубчатых профилей методом обката является неравномерность загрузки режущих кромок зуба производящей рейки. Из схемы резания следует, что слои металла максимальной толщины срезаются периферийными режущими кромками, а боковые кромки загружены в значительно меньшей сте-

пени. Следовательно, толщины срезаемых слоев целесообразно определять в первую очередь именно для периферийных режущих кромок инструмента [1].

С учетом рассмотренных особенностей схемы формообразования зубчатых профилей цилиндрических колес методом обката, можно построить обобщенную структурную модель процесса зубонарезания, отражающую наличие взаимосвязей основных параметров (рисунок 1). В первую очередь целесообразно смоделировать процессы зубонарезания, для которых характерной является традиционная схема формообразования, то есть без учета возможности управления параметрами.

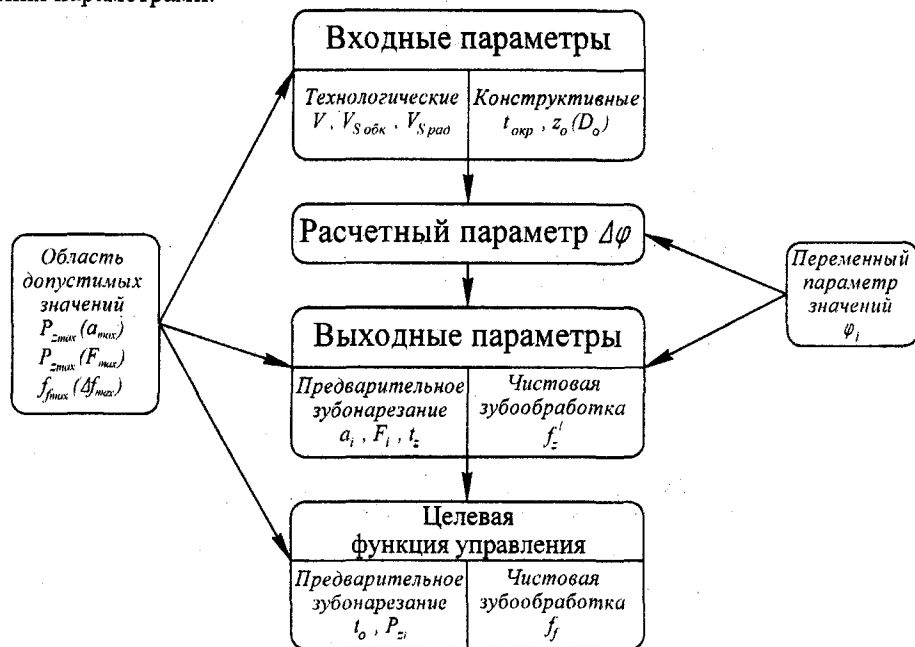


Рисунок 1 – Структурная модель управления параметрами процесса зубонарезания цилиндрических зубчатых колес резцовыми головками по методу обката

В качестве целевой функции управления модели могут быть приняты различные величины. При этом необходимо учитывать, что наиболее полными показателями эффективности любого процесса обработки являются производительность и стоимость изготовления деталей требуемой точности и качества. Непосредственно применительно к процессу зубонарезания по методу обката и инструменту для его реализации можно утверждать, что производительность определяется основным временем обработки t_o . Важной целевой функцией, во многом определяющей производительность и стоимость обработки, является стойкость инструмента – T . С целью достижения минимальной стоимости инструмента необходимо обеспечить технологичность его конструкции. Очевидно, эти характеристики процесса зубообработки могут быть приняты в качестве целевой функции управления, но могут быть выявлены и другие целевые функции управления модели процесса зубонарезания по методу обката. Следовательно, имеется многопараметрическая модель процесса зубонарезания по методу обката. Исследование такой модели представляет собой сложную задачу. Одним из способов ее решения является расчленение многопараметрической модели на несколько однопараметрических и анализ процесса зубонарезания по каждому параметру отдельно. Поскольку в основном рассматривается производительность зубообработки, целесообразно, прежде всего, осуществить моделирование процесса зубонарезания с целевой функцией t_o – основным временем обработки.

На выходные параметры накладываются определенные ограничения по силе резания $P_{z\max}$, а, следовательно, и по площади срезаемого слоя – $F_{\max}$ и толщине срезаемого слоя – $a_{\max}$, определяющей нагрузку на единицу длины режущей кромки и ее прочность. Таким об-

разом, создается область допустимых значений для выходных параметров.

Кроме этого, на выходные параметры оказывают влияние случайные внешние воздействия, например, недостаточная жесткость технологической системы и невозможность вследствие этого увеличения сил резания, невысокое качество материала режущих пластин, а, следовательно, вынужденное уменьшение толщин срезаемых слоев и др.

Выбор входных параметров осуществляется исходя из возможности их влияния на промежуточный расчетный параметр $\Delta\phi$, а значит, и на все управляемые параметры (V_{ϕ} , $P_{z\phi}$, F_{ϕ} , a_i). Наиболее универсальным способом управления величиной элементарного угла обката является изменение скорости подачи обката $V_{\text{Собк}}$ с помощью механизма обката специальной конструкции. Кроме этого, величина $\Delta\phi$ может меняться в результате изменения конструктивных параметров самого инструмента, например, при расположении резцов в резцовой головке с неравномерным окружным шагом.

Очевидно, что входные параметры также должны изменяться в определенных пределах. Так, скорость подачи обката не может превышать некоторого максимального значения $V_{\text{Собк max}}$, которое гарантирует надежную и стабильную работу обкатно-делительного механизма, угловой (окружной) шаг расположения резцов в инструменте не может быть меньше некоторой минимальной величины, обеспечивающей достаточную жесткость резцовой головки, и т. д. Таким образом, устанавливается определенная область допустимых изменений для входных параметров.

Данная структурная модель позволяет перейти к построению математической модели.

Анализ структурной модели управления параметрами процесса зубонарезания цилиндрических зубчатых колес резцовыми головками по методу обката позволяет сделать следующее заключение. Наиболее простым и в то же время обеспечивающим возможность значительно повысить производительность, является способ управления процессом обкатывающего зубопротягивания, заключающийся в выравнивании толщин срезаемых слоев за счет неравномерного расположения резцов в инструменте. Причем, выравнивание достаточно произвести только на стадии заглупления зуба производящей рейки во впадину обрабатываемого колеса, когда вырезается основная часть металла. На стадии выхода зуба производящей рейки из впадины целесообразно обеспечить симметричную схему формообразования, следовательно, закономерность расположения резцов в головке должна быть обратной.

Данное заключение обосновано наличием уточненной аналитической зависимости для определения толщин срезаемых слоев

$$a_i = \left[r_{w1} \cdot (\phi_n - z_{0i} \cdot \Delta\phi) + (r_{w1} - h_{a0}) \cdot \text{tg} \frac{1}{2} \Delta\phi \right] \cdot \text{tg} \Delta\phi. \quad (1)$$

Формула позволяет легко определить толщины срезаемых слоев по известным текущим и элементарным углам обката и наоборот. После построения выравненной схемы резания можно определить площади срезаемых слоев графоаналитическим методом, и проанализировать характер их изменения. Использование выравнивания аналитических зависимостей для определения площадей срезаемых слоев проблематично, поскольку каждый раз при решении подобной задачи потребуются выявлять новую зависимость. Получение же обобщенной зависимости является очень сложной задачей, решение которой представляется нецелесообразным.

Частная модель управления процессом обкатывающего зубопротягивания путем выравнивания толщин срезаемых слоев за счет неравномерного расположения резцов в инструменте выглядит следующим образом (рисунок 2). На основе данной модели можно найти параметры стабилизированного процесса обкатывающего зубопротягивания дисковыми резцовыми головками, построить схему формообразования, рассчитать основные параметры инструмента и определить производительность зубообработки.

Решение данной задачи целесообразно осуществить на ЭВМ. Процесс может быть реализован на модернизированном горизонтально-фрезерном станке, оснащенном обкатно-делительным механизмом [2].

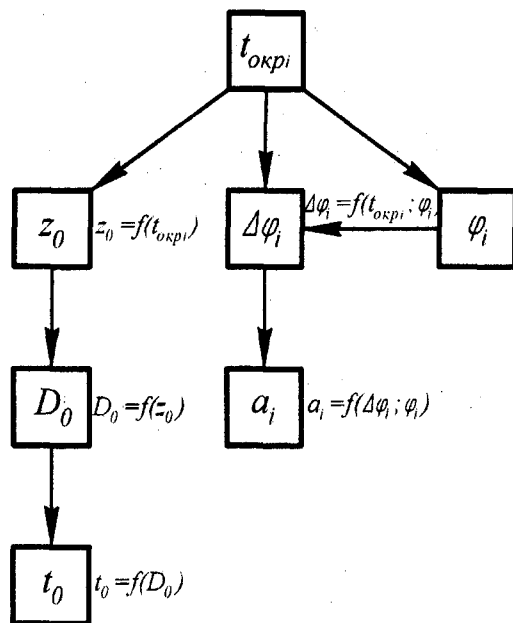


Рисунок 2 – Модель управления процессом обкатывающего зубопротягивания дисковыми резцовыми головками

После ввода исходных данных: модуля m и числа зубьев колеса z_1 (угол профиля α по умолчанию принимается равным 20°) рассчитываются постоянные величины: радиус начальной окружности r_{w1} , высота головки зуба инструмента h_{a0} . Максимальная толщина срезаемого слоя $a_{\max}$ определяется по формуле (1). По формулам

$$\varphi_n = \frac{6\sqrt{z_1} + \pi - 5tg\alpha}{2z_1} \text{ и } \varphi_k = \frac{\pi}{2z_1} + (tg\alpha_e - tg\alpha)$$

определяются величины начального и конечного углов обката φ_n и φ_k .

Выбирается текущее значение номера реза $i = 0$, а текущее значение угла обката принимается равным начальному $\varphi_i = \varphi_n$. Затем рассматривается первый рез $i = i + 1$. С помощью численного метода решается уравнение (1), которое преобразуется следующим образом

$$a_{\max} = \left[r_{w1} \cdot (\varphi_{i-1} - \Delta\varphi_i) + (r_{w1} - h_{a0}) \cdot tg \frac{\Delta\varphi_i}{2} \right] \cdot tg \Delta\varphi_i.$$

В итоге определяется элементарный угол обката для первого реза $\Delta\varphi_1$. Очевидно, что данное значение элементарного угла обката будет минимальным. Минимальными будут величины углового ψ_i и окружного $t_{окр}$ шагов расположения резцов в головке, который определяется конструкцией инструмента $p_{i0i} = H + \Delta l$, где H – высота державки резца, выбирается из условия применения взаимозаменяемых резцов; Δl – расстояние между резцами инструмента, определяется из условия обеспечения необходимой жесткости резцовой головки и размещения устройства для крепления резцов.

Минимальное значение углового шага расположения резцов в головке определяется соотношением $\psi_{\min} = \frac{2 \cdot t_{окр}}{d_{0\min}}$, где $d_{0\min}$ – минимальный возможный диаметр резцовой головки.

Минимальный диаметр резцовой головки зависит от угла сектора резцовой головки, свободного от резцов $\theta_{св}$

$$\theta_{св} = \omega_0 \cdot t_{с.х.} = 2\pi \cdot n_0 \cdot t_{с.х.} = \frac{2000 \cdot V}{d_{0\min}} \cdot t_{с.х.},$$

где $t_{с.х.}$ – время вспомогательных движений возврата и деления заготовки, принимается $t_{с.х.} = 0,01$ мин; V – рекомендуемая скорость резания, при обкатывающем зубопротягивании,

$$V = \left(\frac{C_m}{T \cdot a_{\max}^{y_V}} \right)^{\frac{1}{x_V}}$$

Величина углового шага расположения резцов в головке может быть найдена из пропорции $\varphi_n - \varphi_k \sim 2\pi - \theta_{св}$; $\Delta\varphi_i \sim \psi_i$,

откуда
$$\psi_i = \frac{2 \cdot t_{окр}}{d_0} = \frac{(2\pi - \theta_{св}) \cdot d\varphi_i}{\varphi_n - \varphi_k}.$$

Из данного соотношения может быть определен минимальный диаметр резцовой го-

ловки
$$\frac{2 \cdot t_{окр}}{d_{0\min}} = \frac{\left(2\pi - \frac{2000 \cdot V}{d_{0\min}} \cdot t_{с.х.} \right) \cdot d\varphi_1}{\varphi_n - \varphi_k},$$

откуда

$$d_{0\min} = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{t_{окр} \cdot (\varphi_n - \varphi_k)}{\Delta\varphi_1} + 1000 \cdot V \cdot t_{с.х.} \right).$$

Число оборотов резцовой головки

$$n_0 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}.$$

И, наконец, время обработки одной впадины с учетом вспомогательных ходов, которое характеризует производительность процесса, определяется

$$t_z = 1/n_0.$$

Расчет диаметра резцовой головки, величины свободного сектора и производительности осуществляется только для первого реза. После этого для каждого реза определяется значение текущего угла обката $\varphi_i = \varphi_{i-1} - \Delta\varphi_i$, угловой шаг расположения резцов в головке. При этом расчетная толщина срезаемого слоя остается постоянной. Расчет продолжается до тех пор, пока текущий угол обката $\varphi_i = 0$, то есть до окончания стадии заглабления зуба производящей рейки во впадину обрабатываемого колеса. Для стадии выхода зуба производящей рейки из впадины, параметры срезаемых слоев и закономерность расположения резцов в головке принимается обратной. Далее определяется расчетное число резов на стадиях заглабления $n_{z1} = i$ и выхода n_{z2} зуба производящей рейки во впадину обрабатываемого колеса и общее число резцов головки n_z .

Осуществляется вывод результатов расчетов: основные параметры инструмента – d_0 , $\theta_{св}$, n_z ; время обработки – t_z ; параметры схемы формообразования – φ_b , $\Delta\varphi_i$; параметры расположения резцов в головке – ψ_i , $t_{окр}$.

На основе приведенного расчета были получены величины углового ψ_i и окружного $t_{окр}$ шагов расположения резцов в головке. На рисунке 3 показана схема расположения режущих элементов в дисковой резцовой головке для обкатывающего зубопротягивания при выравнивании процесса по толщинам срезаемых слоев.

В данной резцовой головке с взаимозаменяемыми резцами из быстрорежущей стали, установленными в корпусе головки в пределах неполного витка с образованием свободного сектора, резцы установлены в одной плоскости в одинаковом радиальном положении с монотонно возрастающим окружным шагом.

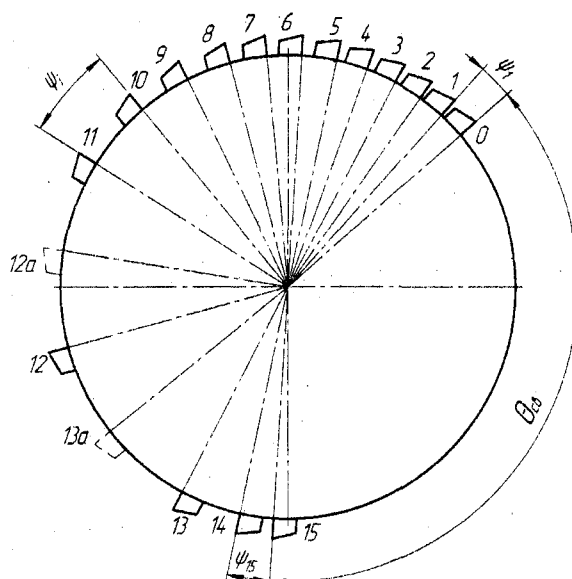


Рисунок 3 – Схема расположения режущих элементов в резцовой головке для стабилизированного процесса обкатывающего зубопротягивания

Предложенная резцовая головка (рисунок 4) позволяет уменьшить количество взаимозаменяемых резцов в 1,8 раза, что существенно сокращает затраты средств и времени на изготовление инструмента и переточки режущих пластин взаимозаменяемых резцов в процессе их эксплуатации в производственных условиях машиностроительных предприятий.

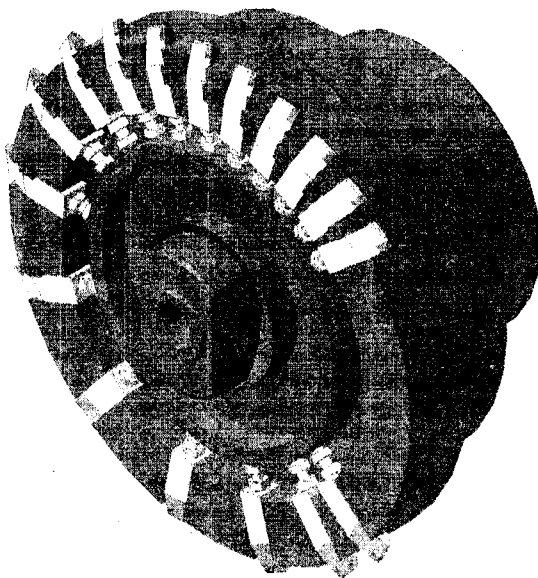


Рисунок 4 – Общий вид резцовой головки для обкатывающего зубопротягивания

Таким образом, проведенные исследования возможностей выравнивания процесса зубонарезания по методу обката по толщинам срезаемых слоев позволяют достаточно эффективно реализовать управление параметрами процесса обкатывающего зубопротягивания цилиндрических колес дисковыми резцовыми головками.

Работы выполнены при финансовой поддержке МИНОБРНАУКИ РФ (темпл НИР ТулГУ, тема № госрегистрации 7.1439.2011)

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов, В. Д. Анализ эффективности процессов зубонарезания цилиндрических колес [Текст] : монография / В.Д. Артамонов, Ю. Н. Федоров // Тула, Изд-во Тул ГУ, 2008. - 356 с.

2. Федоров, Ю. Н. Зубонарезание цилиндрических колес методом обката на модернизированных фрезерных станках [Текст] / Ю.Н. Федоров, В.Д. Артамонов, О.Л. Золотухина // Технология машиностроения. Москва, издательский центр "Технология машиностроения", 2008. - № 1 (67). - С.15-19.

Артамонов Валерий Дмитриевич

Тульский государственный университет, г. Тула
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
«Технология машиностроения»
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, пр-т Ленина, д.92, тел. (4872) 33-23-10

Кондрашов Владимир Александрович

Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, пр-т Ленина, д.92, тел. (4872) 33-23-10
E-mail: kovlal@rambler.ru

V. D. ARTAMONOV, V. A. KONDRASHOV

RESEARCH OF OPPORTUNITIES OF MANEUVERING OF PARAMETERS OF PROCESS GENERATION TOOTH-BROACHING OF CYLINDRICAL WHEELS

In clause the opportunity of Maneuvering of process generation tooth-broaching of disk cutter heads is considered on the basis of alignment of thickness cutting layers at the expense of a non-uniform arrangement of cutters in the tool.

Keywords: gear cutting process, model, generation method, parameter, disk cutter head, circuit of cutting.

BIBLIOGRAPHY

[1] Artamonov, V.D. the Analysis of efficiency of processes gear cutting cylindrical wheels [Text]: the monography / V.D. Artamonov, Yu. N. Fedorov. - Tula, Publishing house Tul GU, 2008. - 356 p.

[2] Fedorov Ju.N. Gear cutting cylindrical wheels a method obkata on the modernized milling machine tools [Text] / Ju.N. Fedorov, V.D. Artamonov, O. L. Zolotuhina // Technology of mechanical engineering. Moscow, the publishing center "Technology of mechanical engineering", 2008. - № 1 (67). - Pp. 15-19.

Artamonov Valeriy Dmitrievich

The Tula state university, s. Tula
The candidate of engineering sciences, senior lecturer,
senior lecturer of faculty «Technology of mechanical engineering»
FSBEI HVT «The Tula state university»
300012, s. Tula, pr-s Lenina, h.92, ph. (4872) 33-23-10

Kondrashov Vladimir Aleksandrovich

The Tula state university, s. Tula
The post-graduate student of faculty «Technology of mechanical engineering»
FSBEI HVT «The Tula state university»
300012, s. Tula, pr-s Lenina, h.92, ph. (4872) 33-23-10
E-mail: kovlal@rambler.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА ЛОПАТОК РОТОРА КВД

Описывается проблема ремонта лопаток ротора КВД и предлагается метод ремонта с целью повышения качества, надежности и уменьшения стоимости ремонта. Приведены данные исследований использованных ППД в ремонтном производстве. Выполнен анализ полученных структур, представлены результаты исследований.

Ключевые слова: ремонт, упрочняющая обработка, микротвердость, макро- и микрорельеф.

ВВЕДЕНИЕ

Целесообразность применения того или иного способа восстановления или упрочнения детали определяется требованиями обеспечения ее заданной долговечности и необходимостью повышения эксплуатационных свойств поверхностного слоя (прочности, твердости, износостойкости и т.д.). Наиболее нагруженными и труднообрабатываемыми деталями современных газотурбинных двигателей являются лопатки, валы и диски. На лопатках, эксплуатирующихся в неблагоприятных условиях, образуются механические повреждения в виде точечных забоин и вмятин.

Двигатели, эксплуатирующиеся на протяжении многих лет, приходят в пятый ремонт, при этом отбраковка лопаток составляет свыше пятидесяти процентов в связи с наличием эрозионных повреждений и отсутствием припуска на механическую обработку при ремонте. Для комплектования двигателей ставится задача либо изготовление новых лопаток, либо разработка принципиально новой технологии ремонта.

Наличие на поверхности пера лопаток упрочненных и неупрочненных заполированных зон не позволяет производить упрочняющую обработку всей поверхности пера во избежание перенаклепа уже упрочненных участков. Для повышения послеремонтного ресурса таких лопаток необходимо упрочнение именно заполированных участков с плавным переходом по интенсивности упрочнения при выходе на упрочненные участки.

В настоящее время успешно развивается технологический метод повышения усталостной прочности и износостойкости деталей: дробеструйная обработка и управление этим процессом с целью обеспечения постоянства показателей качества.

На работоспособность лопатки решающее влияние оказывает шероховатость поверхности, этот параметр прием в качестве критерия оптимизации. Назначение режимов обработки при дробеструйном методе упрочнения будет определяться, исходя из обеспечения требуемой шероховатости с последующей проверкой возможности получения при выбранных режимах остальных характеристик поверхностного слоя (прироста твердости и толщины упрочненного слоя, а также получения остаточных сжимающих напряжений).

С целью определения влияния ППД на физико-механические характеристики лопаток ротора КВД были проведены исследования на опытных плоских образцах размерами 80 x 20 x 2 мм, изготовленных из материала ВТ6 (рисунки 1).

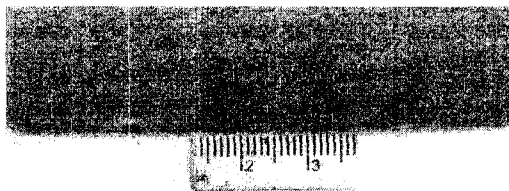


Рисунок 1 - Внешний вид образца для проведения исследований

Испытуемая поверхность пластины подвергалась шлифованию, максимальное значение параметра шероховатости образца до обработки $Ra = 1,6$ мкм. Обработку образцов методом ППД проводили на дробеструйной установке фирмы "Rösler" VB 130 с целью определения оптимальных режимов для получения требуемой шероховатости поверхности с необходимыми свойствами поверхностного слоя.

Давление, расстояние до сопла, угол атаки, количество проходов детали устанавливали различными для определения оптимальных режимов, при которых происходит необходимое упрочнение металла и обеспечивается необходимая шероховатость поверхности. Давление воздуха регулировали в диапазоне от 0,2 до 0,6 МПа. Угол атаки β , т.е. угол между соплом установки, из которого подавалась дробь и образцом лопатки составлял 45° и 90° . Расход дробы составлял 3 кг/мин., диаметр дробы – 0,315 мм.

После проведения эксперимента проводился замер параметра шероховатости обработанных поверхностей образцов при помощи электронного профилометра - профилографом «Talysurf»

Зависимость шероховатости поверхности от расстояния сопла до поверхности детали и давления воздуха представлена на рисунках 2 и 3.

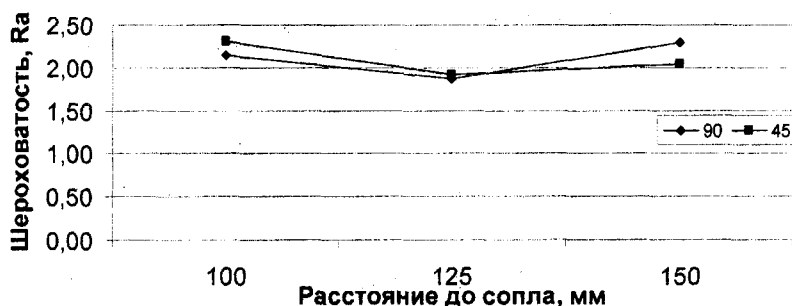


Рисунок 2 - Зависимость шероховатости поверхности от расстояния при ППД

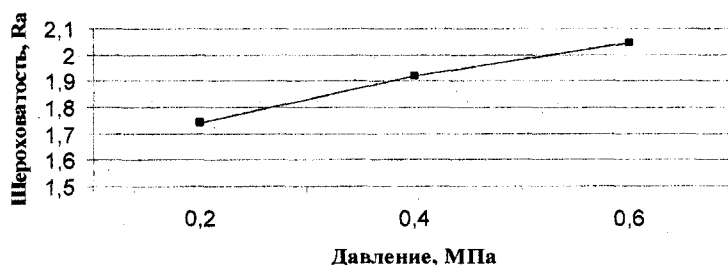
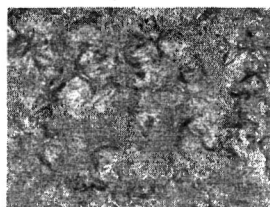


Рисунок 3 - Зависимость шероховатости поверхности от давления воздуха при ППД

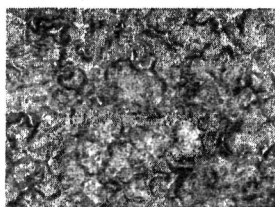
При анализе результатов шероховатости образцов можно сделать вывод, что при увеличении давления воздуха увеличивается шероховатость поверхности. Кроме того, при изменении расстояния от сопла до поверхности детали, шероховатость поверхности падает, затем снова увеличивается, т.е. существует некоторое оптимальное расстояние, при котором поток воздуха успевает стабилизироваться, т.е. скорости полета дробинки в центре и периферии выравниваются и стремятся к некоторой средней величине.

В результате дробеструйного наклепа поверхность детали приобретает специфическую макрогеометрию (рисунки 4 и 5).

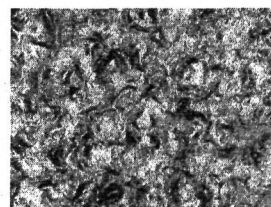
Многочисленные лунки, являющиеся следами удара дробинки, обычно снижают чистоту поверхности, что может в отдельных случаях препятствовать нормальной эксплуатации, наклепанной дробью детали.



№1: P-0,4 МПа, l-100 мм, n-1

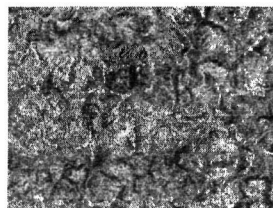


№2: P-0,4 МПа, l-150 мм, n-2

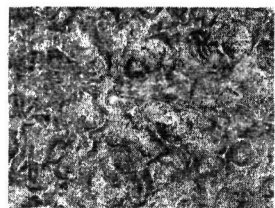


№3: P-0,4 МПа, l-125 мм, n-3

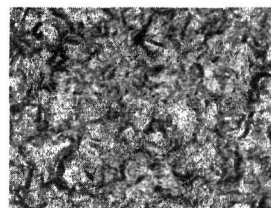
Рисунок 4 – Зависимость степени покрытия от режимов обработки ($\beta - 45^\circ$) при увеличении $\times 100$



№4: P-0,4 МПа, l-100 мм, n-1



№5: P-0,4 МПа, l-150 мм, n-2



№6: P-0,4 МПа, l-125 мм, n-3

Рисунок 5 – Зависимость степени покрытия от режимов обработки ($\beta - 90^\circ$) при увеличении $\times 100$

Это же обуславливает и несовершенство расчетных методов определения параметров случайного распределения отпечатков дробы на обрабатываемой поверхности, в том числе и степеней покрытия.

Результаты поверхностных напряжений после проведения обработки определялись на дифрактометре «ИРИС» и представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты поверхностных напряжений после обработки

№ образца	Режимы обработки	Шероховатость, Ra	Напряжения, МПа
1	P-0,4 МПа; l-100 мм; $\beta - 90^\circ$	2,298	-689
2	P-0,4 МПа; l-125 мм; $\beta - 90^\circ$	1,875	-705
3	P-0,4 МПа; l-150 мм; $\beta - 90^\circ$	2,149	-583
4	P-0,4 МПа; l-100 мм; $\beta - 45^\circ$	2,308	-675
5	P-0,4 МПа; l-125 мм; $\beta - 45^\circ$	2,044	-668
6	P-0,4 МПа; l-150 мм; $\beta - 45^\circ$	1,919	-642

Эксперименты по определению поверхностных напряжений показали следующее: на поверхностях всех образцов напряжения были сжимающие. В поверхностном слое образцов, обработка которых велась при угле атаки 90° , обнаружены большие сжимающие остаточные напряжения, по сравнению с поверхностным слоем образцов, обработка которых велась при угле атаки 45° .

Снижение остаточных напряжений может быть связано с недостаточной или, наоборот, излишней интенсивной деформацией, ведущей к перенаклепу и разрушению поверхностного слоя металла.

При проведении экспериментальных исследований на образцах, выяснилось, что пластины стремятся выгнуться навстречу потоку дробы. На рисунке 6 приведены результаты исследований насыщения при дробеструйном упрочнении.

На этой кривой можно отметить период времени (Т), за который прогиб образцов растет по кривой, близкой к параболической (время насыщения Т). После достижения максимальной точки на этой кривой для всех значений времени кривизна меняется по прямой,

имеющий небольшой угол наклона к оси времени. Оптимальным считается время (удвоенное значение времени насыщения $2T$), за которое кривизна увеличится не более, чем на 10 %. Очевидно, что высота дуги прогиба образца, измеренной во время $t = 24$ с., составляет 18,5 мкм, что незначительно больше высоты дуги прогиба образца, измеренной во время $t = 12$ с. (17,8 мкм).

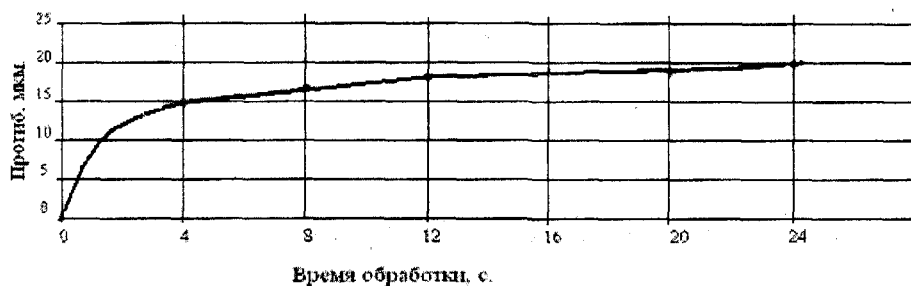


Рисунок 6 - Зависимость прогиба от времени обработки

Зависимость значения прогиба от времени обработки и давления воздуха показана на рисунках 7 и 8.

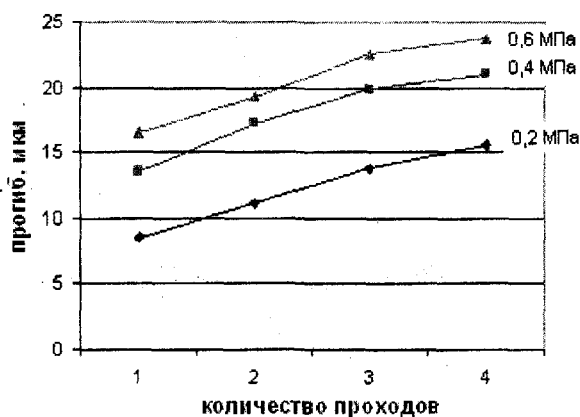


Рисунок 7 - Зависимость значения прогиба от количества проходов и давления воздуха ($L=125$ мм, $\beta=45^\circ$)

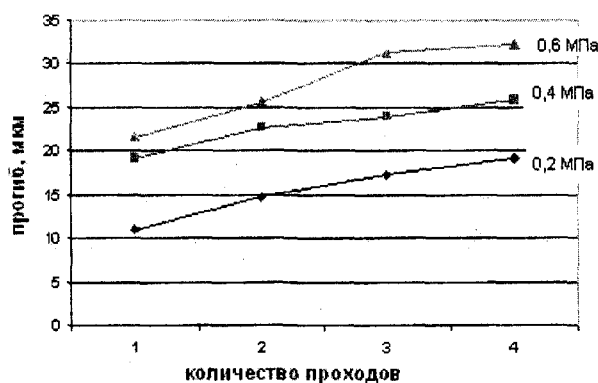


Рисунок 8 - Зависимость значения прогиба от количества проходов и давления воздуха ($L=125$ мм, $\beta=90^\circ$)

При анализе результатов прогиба образцов можно сделать вывод, что при увеличении давления воздуха увеличивается высота прогиба, при изменении расстояния от сопла до обрабатываемой детали величина прогиба изменяется незначительно, При увеличении угла атаки с 45° до 90° величина прогиба увеличивается значительно.

Для заданных расхода воздуха, плотности и размера частиц существует некоторое критическое расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности, превышение которого приводит к резкому уменьшению скорости частиц. С увеличением расхода сжатого воздуха, размеров и плотности частиц, расстояние возрастает. Превышать его нецелесообразно. На очень близких расстояниях из-за экранирующего влияния отраженного от поверхности сжатого воздуха с частицами эффективность обработки уменьшается.

ВЫВОДЫ:

1. Для заданных расхода воздуха, размера частиц существует некоторое критическое расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности. На очень близких расстояниях из-за экранирующего влияния отраженного от поверхности сжатого воздуха с частицами эффективность обработки также снижается. В тоже время, превышение этого расстояния нецелесообразно, т.к. это приводит к резкому уменьшению скорости частиц, и соответственно, потере энергии удара.

2. С увеличением времени дробеструйной обработки шероховатость поверхности изменяется незначительно, но не достигает исходной. Дробеструйный наклеп сглаживает острые надрезы и риски на поверхности детали, являющиеся следами предшествующей механической обработки.

3. Положительная роль поверхностных остаточных напряжений, связанных с дробеструйным наклепом, проявляется благодаря чувствительности металла к величине и знаку среднего нормального напряжения цикла.

4. Изменяя режимы ППД (скорость обрабатываемых тел, интенсивность воздушного потока, угол атаки, расстояние от сопла до детали) можно управлять параметрами шероховатости, наклепа и остаточных напряжений с учетом структуры материала, масштабного фактора и концентрации напряжений.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуслаев, В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко // Издательский комплекс ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье, 2006. – 335 с.
2. Лебедев, В. А. Энергетические аспекты упрочнения деталей динамическими методами поверхностного пластического деформирования [Текст] : монография / В.А. Лебедев. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007. – 156 с.
3. Шалин, В. Н. Расчеты упрочнения изделий при их пластической деформации [Текст] / В.Н. Шалин. - Л., Машиностроение, 1971 г. - 192 с.

Светлана Николаевна Бардинова

аспирант

ФГОУ «Рыбинский государственный авиационный
технический университет»

Тел: (8) 9108113084

E-mail: bardinova.sn@yandex.ru

S.N. BARDINOVA

INCREASING OF THE HPC ROTOR BLADES REPAIR EFFECTIVENESS

It is described the problem of the HPC rotor blades repair and purposed solution for increasing quality, reliability and reduction of the repair cost. Research data of the application of the surface plastic deformation in repair are given. The results of investigation and analysis of the structures are given.

Key words: repair, surface plastic deformation, microhardness, macro- and microrelief.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Boguslayev, V. A. Technological support and forecasting of bearing ability of details of GTE [Text] / A. Boguslayev, V. K. Yatsenko, V. F. Pritchenko // Publishing complex of JSC Motor Sich, Zaporozhye, 2006. – 335 p.
- [2] Lebedev, V. A. Power aspects of hardening of details dynamic methods of superficial plastic deformation [Text]: monograph / V. A. Lebedev. - Rostov-on-Don: DGTU publishing center, 2007. – 156 p.
- [3] Shalin, V. N. Calculations of hardening of products at their plastic deformation [Text] / V. N. Shalin. - Mechanical engineering, 1971. - 192 p.

Svetlana Nikolayevna Bardinova

Post-graduate student

Rybinsk State Aviation Technical University

Telephone: (8) 9108113084

E-mail: baridinova.sn@yandex.ru

УДК 621.914.5.002.54

О.И. БОРИСКИН, Н.Г. СТАХАНОВ, С.Я. ХЛУДОВ, А.В. ЯКУШЕНКОВ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЕЧНЫМИ И ЧЕРВЯЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ ПРОФИЛЯ ДЕТАЛИ, ОЧЕРЧЕННОГО ДУГАМИ ОКРУЖНОСТИ

В статье рассматриваются результаты исследований условий формирования выпуклых и вогнутых участков профилей деталей, очерченных дугами окружностей, возникновения «мертвых зон» и рекомендации по выбору начального радиуса.

Ключевые слова: реечный и червячный инструменты, профиль детали, дуги окружности, условия формирования, начальный радиус, специфические точки, «мертвая зона»

Обработка деталей с периодическим профилем, к которым предъявляются повышенные требования, занимает особое место в машиностроении. От их качества, в частности, точности, напрямую зависит конкурентоспособность продукции машиностроительных производств. Для обработки таких деталей наиболее широкое применение нашли инструменты реечного и червячного типа, которые способны обеспечивать высокую точность и производительность. Однако на практике часто возникают проблемы, решение которых возможно только на базе теоретических исследований.

Наиболее часто проблема возникает при обработке неэвольвентных профилей и, в первую очередь, при обработке участков деталей, очерченных вогнутыми и выпуклыми дугами окружности. Поэтому основными задачами данной работы явилась разработка метода оценки условий формирования таких поверхностей, их специфических особенностей и рекомендаций по выбору управляющих параметров, при обработке инструментами реечного и червячного типа.

В соответствии с геометрической теорией формирования поверхностей, для того чтобы спроектировать инструмент, или получить инструментом заданную поверхность детали, необходимо, чтобы в каждой точке контакта сопряженных поверхностей детали и инструмента были выполнены три условия формообразования.

1. В каждой точке контакта сопряженные поверхности должны иметь общую касательную плоскость.

2. Касание в каждой точке контакта должно происходить с открытой стороны каждой поверхности.

3. Сопряженные поверхности не должны пересекаться.

Для инструментов, работающих методом обкатки, в том числе реечного и червячного, выполнение этих условий в первую очередь зависит от значения радиуса r_w начального цилиндра детали.

Для определения предельных значений этого радиуса были использованы разработанные профессором С. И. Лашневым зависимости [1], которые были адаптированы к системам координат, используемым авторами статьи.

1-е условие $r_w \geq |u|$,

2-е условие $r_w = \sqrt{u^2 + \left[\rho - v \pm \sqrt{\rho(\rho - v)} \right]^2}$,

где $u = r \cos \xi$, $v = r \sin \xi$,

r - радиус-вектор точки профиля детали,

ξ - угол наклона касательной в данной точке торцового профиля детали относительно радиуса-вектора,

ρ - радиус кривизны профиля детали в той же точке торцового профиля.

По 1-му условию ограничивается только значение $r_{w \min 1} = |u|$.

По 2-му условию определяются два предельных значения: меньшее $r_{w \min 2}$ и большее $r_{w \max 2}$. Если подкоренное выражение $\rho \cdot (\rho - v) < 0$, то для вогнутых кривых второе условие не может быть выполнено.

Оба условия должны выполняться одновременно для всех точек всех участков профиля детали.

При нарушении первого условия в рассматриваемой точке поверхности детали и инструмента касания не будет. Поэтому данная точка на детали и соответствующая на инструменте получены быть не могут.

При нарушении второго условия контакт инструмента с деталью будет происходить со стороны тела детали, что практически невозможно. В этом случае при оформленном профиле инструмента на детали образуются переходные кривые, подрезы и срезы уже оформленных участков профиля детали.

Поскольку дуговые участки профиля детали могут располагаться во всех четырех четвертях окружности, то исследования проводились на примере полной окружности.

Так как результаты расчетов для точек окружности, расположенных симметрично, относительно линии, проведенной из центра вращения детали через центр окружности (на приведенных примерах совпадают с осью x), полностью совпадают, на рисунках приведены только правые стороны окружности.

Типовой пример результатов исследования условий формирования вогнутых дуг окружностей приведен на рисунках 1 и 2.

На основе проведенных исследований для различных положений центра окружностей можно сделать следующие выводы.

Если из центра окружности вогнутой или выпуклой провести линию, перпендикулярно радиус-вектору, определяющему центр этой окружности относительно оси вращения детали (в системе XOY), то ее пересечение с окружностью определит

специфическую точку S. В этой точке подкорненное выражение $\rho(\rho - \nu) = 0$. Поэтому

$$r_{w \max 2} = r_{w \min 2} = r_{w \min 1}.$$

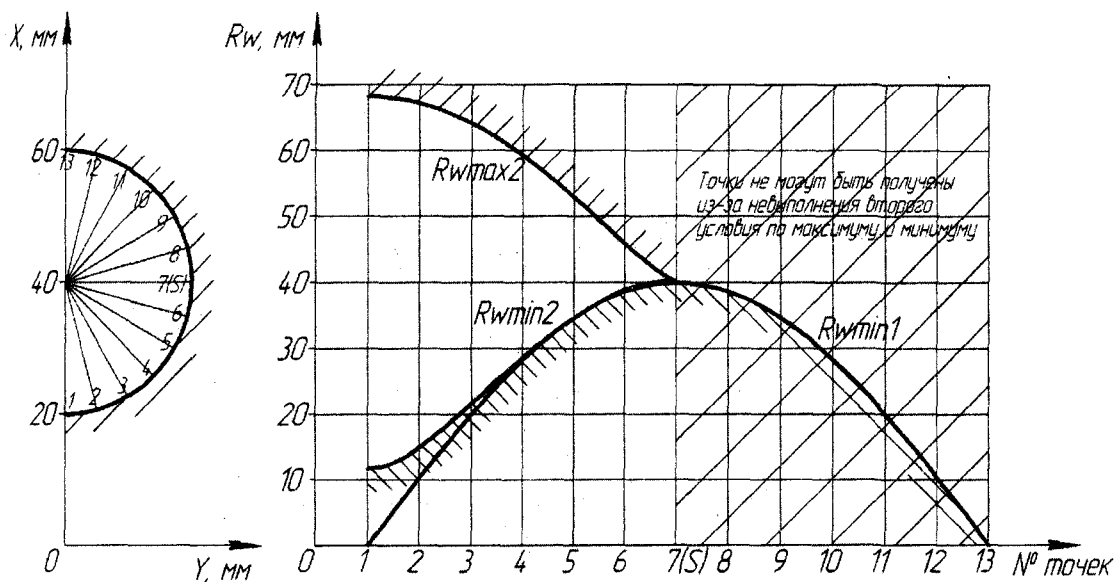


Рисунок 1 - Условия формирования вогнутых дуг окружности:
а) расчетные точки вогнутой дуги окружности при $x_0 = 40$, $\rho = -20$;
б) графики предельных значений радиусов начальных цилиндров

Для точек вогнутой окружности, расположенных выше точки S это выражение будет отрицательным, т.е. второе условие формообразования будет нарушено, как для правой, так и для левой стороны. Условно назовем эту зону окружности, выше точек S на левой и правой сторонах «мертвой зоной», которая не может быть получена инструментами реечного и червячного типа.

Для точек окружности, лежащих ниже точки S, как на левой, так и на правой сторонах вогнутой окружности, значение подкорненного выражения будет $\rho(\rho - \nu) > 0$, и будет два предельных значения начального радиуса $r_{w \min 2}$ и $r_{w \max 2}$, в пределах которых может быть сформирована каждая точка окружности.

Однако и в этом случае имеет место образование второй «мертвой зоны» в непосредственной близости к точке S для обеих сторон нижней части окружности.

Для точек окружности, расположенных ниже точки S, но в непосредственной близости к ней, минимальный радиус $r_{w \min 2}$ по мере удаления точек от точки S сначала возрастает, достигает максимума и далее уменьшается (рисунок 2).

Если принять радиус r_w , равным радиусу центра окружности, то в зоне, прилегающей к точке S, как это видно на рисунке 2, будет нарушено второе условие формообразования, т.е. $r_w < r_{w \min 2}$. В результате образуется вторая «мертвая зона». В нашем примере на графике 7(S)-64.

Если же принять $r_w = r_{w \min 2(\max)}$, т.е. несколько больше, то указанное условие будет выполнено для всех точек нижней половины окружности. Однако окажется нарушенным условие $r_w < r_{w \max 2}$. В этом случае «мертвая зона» будет включать точку S, но по протяженности будет меньше.

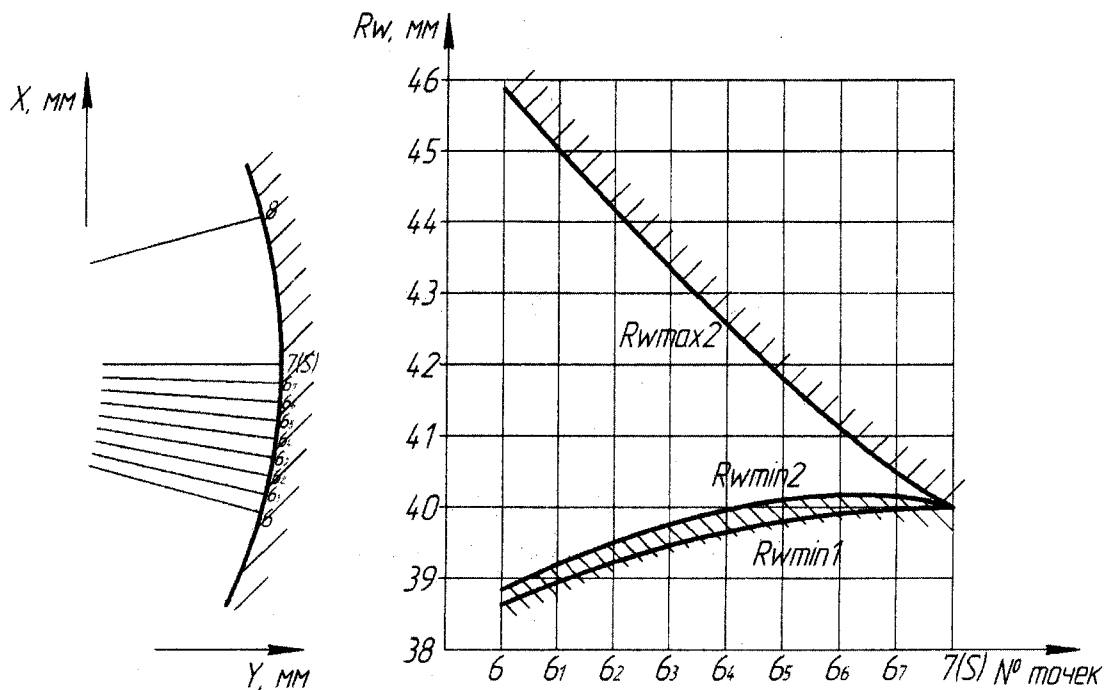


Рисунок 2 - Образование «мертвой зоны» на участке 6-7(S)
при $r_w = 40$, $\rho = -20$

На расчетном профиле инструмента в «мертвой зоне» образуются две точки возврата и ветвь возврата, которые при оформлении профиля инструмента будут отсечены. При обработке таким инструментом детали образуются погрешности профиля, затрагивающие также соседние участки.

Такая «мертвая зона» в виду малой протяженности участка профиля детали с нарушенным вторым условием формообразования (в нашем примере на центральном угле окружности порядка 7°) при проектировании инструмента может остаться незамеченной. Поэтому, чтобы избежать или уменьшить возможные нарушения, на участке профиля детали, прилегающем к точке S с нижней стороны, следует использовать дополнительные расчетные точки с малым шагом. Это дает возможность определить максимальное значение $r_{w\min 2}$, чтобы выбрать наиболее рациональное значение радиуса r_w начального цилиндра детали.

Следует также отметить, что лимитировать выбор r_w при обработке внутренней дуги окружности будет именно второе условие формообразования.

Также следует иметь в виду, что протяженность второй «мертвой зоны» будет увеличиваться с уменьшением расстояния от центра вращения детали до центра окружности.

При формировании профиля детали на участках в зоне специфической точки, углы профиля на инструменте будут слишком малы, в результате задние углы на этих участках могут оказаться недостаточными для работы инструмента и стойкость инструмента окажется низкой. Это необходимо учитывать при конструировании детали с таким вогнутым профилем.

Применительно к выпуклым дугам окружности типовой пример результатов исследования представлен на рисунках 3 и 4.

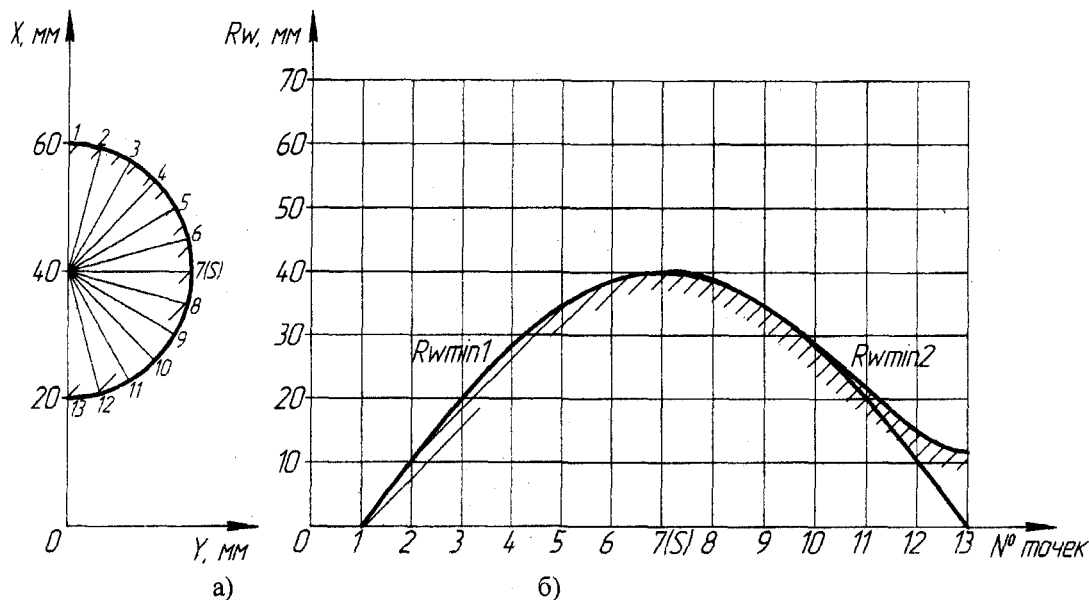


Рисунок 3 - Условия формирования выпуклых дуг окружности:
а) расчетные точки выпуклой дуги окружности при $x_0=40$, $\rho=20$;
б) графики предельных значений радиусов начальных цилиндров.

В отличие от вогнутых профилей деталей, выпуклые не имеют ограничения максимального значения радиуса r_w начального цилиндра детали.

Специфические точки S выпуклых дуг окружности, как для правой, так и для левой сторон окружности, полностью совпадают с аналогичными точками вогнутых окружностей. 1-е условие формообразования также ограничивает минимальное значение r_w и не зависит от вида дуги окружности, выпуклой или вогнутой.

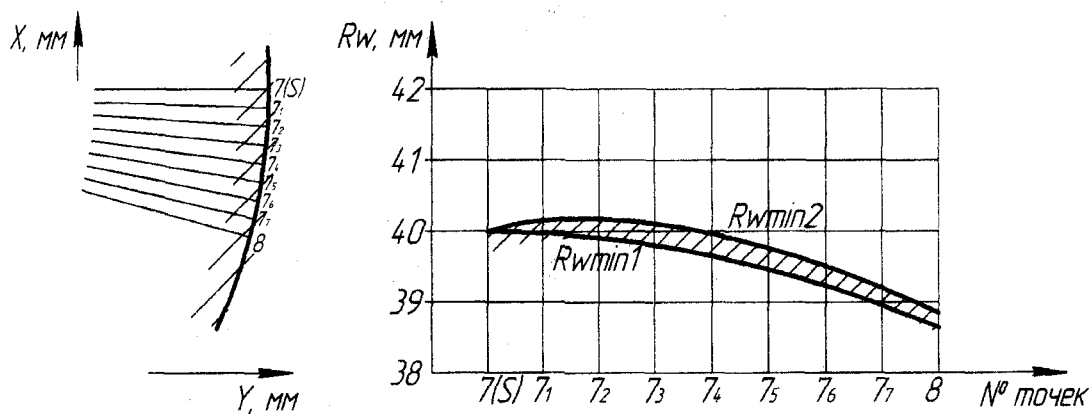


Рисунок 4 - Образование «мертвой» зоны на участке 7(S)- 7₄ при $r_w=40$

Принципиально важное значение для выпуклых и вогнутых профилей детали имеет знак подкоренного выражения. Если $\rho \cdot (\rho - v) < 0$, то 2-е условие формирования для вогнутых профилей выполнено быть не может, а для выпуклых - 2-е условие не ограничивает выбор радиуса r_w начального цилиндра.

Если $\rho \cdot (\rho - v) \geq 0$, то для вогнутого профиля 2-е условие ограничивает как минимальное, так и максимальное значение r_w , а для выпуклого только минимальные значения.

В случае невозможности избежать нарушений условий формообразования даже в одной точке профиля детали, окончательную оценку приемлемости выбранного метода при обработке реечным и червячным инструментами следует вести по отклонениям профиля детали при решении обратной задачи, для чего по принятому профилю инструмента рассчитывают профиль детали при том же радиусе начального цилиндра и проводят оценку допустимости получившихся отклонений профиля, в зависимости от требований точности к рассматриваемому изделию.

Работа выполнена в соответствии с тематикой НИР ТулГУ, рег. № 7.1439.2011 «Базовые промышленные технологии формообразования зубьев цилиндрических колес для создания перспективных видов вооружения»

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лашнев, С.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ [Текст] / С.И. Лашнев, М.И. Юликов. – М.: Машиностроение, 1975. – 386 с.

2. Методология проектирования червячных фрез. Инновационный подход [Текст] : монография / О.И. Борискин, Г.А. Нуждин, Д.А. Жихарев, О.А. Сарапин, Н.Г. Стаханов, С.Я. Хлудов, А.В. Якушенков. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. - 170 с.

Олег Игоревич Борискин
Доктор технических наук, профессор
ФГОБУ ВПО ТулГУ,
Политехнический институт
Тел: (4872) 33-25-38
E-mail: imstulgub@pochta.ru

Сергей Яковлевич Хлудов
Доктор технических наук, профессор
ФГОБУ ВПО ТулГУ,
Политехнический институт
Тел: (4872) 33-25-38
E-mail: imstulgub@pochta.ru

Николай Георгиевич Стаханов
Кандидат технических наук, доцент
ФГОБУ ВПО ТулГУ,
Политехнический институт
Тел: (4872) 33-25-38
E-mail: imstulgub@pochta.ru

Александр Владимирович Якушенков
Кандидат технических наук, доцент
ФГОБУ ВПО ТулГУ,
Политехнический институт
Тел: (4872) 33-25-38
E-mail: imstulgub@pochta.ru

O.I. BORISKIN, N.G. STAKHANOV, S.J. HLUDOV, A.V. JAKUSHENKOV

SPECIFICITY OF FORMATION OF THE PROFILE OF THE DETAIL OUTLINED BY ARCHES OF THE CIRCLE AT WORK AS LATH AND WORM TOOLS

In article results of researches of formation conditions of convex and concave sites of details profiles which are outlined by arches of circles, occurrence of "dead zones" and the recommendation for choice the initial radius are considered.

Key words: laths and worm tools, a profile of a detail, circle arch, a formation conditions, the initial radius, specific points, «a dead zone»

BIBLIOGRAPHY

- [1] Lashnev, S.I., Julikov M. I. Calculation and designing of metal-cutting tools with computer application [Text] / S.I. Lashnev, M.I. Julikov. – M: Mechanical engineering, 1975. – 386 p.
- [2] Methodology of designing of worm mills. The innovative approach [Text]: O. I. Boriskin, G.A. Nuzhdin, D.A. Zhiharev, O.A. Sarapin, N.G. Stakhanov, S.J. Hludov, A.V. Jakushenkov's monography/ O. I. Boriskin. - Tula: Publishing house TulGu, 2011. - 170 p.

Oleg Igorevich Boriskin
Dr.Sci.Tech., the professor of
TSU, Polytechnical institute
phone: (4872 33-25-38
E-mail: imstulgu@pochta.ru

Sergey Jakovlevich Hludov
Dr.Sci.Tech., the professor of
TSU, Polytechnical institute
phone: (4872 33-25-38
E-mail: imstulgu@pochta.ru

Nikolay Georgievich Stakhanov
professor TSU
Polytechnical institute
phone: (4872 33-25-38
E-mail: imstulgu@pochta.ru

Alexander Vladimirovich Jakushenkov
TSU, Polytechnical institute
phone: (4872 33-25-38
E-mail: imstulgu@pochta.ru

УДК 621.923.1

Л.Г. ВАЙНЕР

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СЪЕМА ПРИПУСКА НА ПРИМЕРЕ ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

На основе теории технологического формообразования рассмотрены методологические аспекты моделирования реального формообразования в процессе съема припуска на примере шлифования торцевых поверхностей. Генерация переменной функции формообразования осуществляется с учетом схемных и факторных идентификаторов.

Ключевые слова: технологическое формообразование, шлифование торцов, съем припуска, функция реального формообразования, погрешности обработки.

Для математического описания обрабатываемых на металлообрабатывающих станках поверхностей широко используется метод преобразования координат [1, 2]. Предложенная в [3] функция формообразования (ФФ) станка позволяет представить уравнения обрабатываемых поверхностей в унифицированном (формообразующем) виде. Такая форма уравнений непосредственно связана со структурой технологической системы для обработки данной поверхности и дает возможность выявлять причинно-следственные связи между смещениями и движениями звеньев цепи формообразования (ЦФ), с одной стороны, и получаемой поверхностью, с другой.

ФФ (F_f) определяется как произведение функции F_p , представляющей собой матрицу размером 4×4 , на функцию инструмента F_i (F_i), представляющую собой вектор (4×1),

$$F_f = F_p F_i. \quad (1)$$

Представление функции F_p различается в зависимости от анализируемых групп звеньев в возможном составе формообразующей системы (ФС). Так при моделировании компоновок станков [4] F_p удобно определять как произведение трех матриц преобразования координат (МП) - приспособления заготовки, станка и приспособления инструмента; при цепи формообразования в виде промышленного робота F_p определяется как функция манипулирования.

При рассмотрении собственно процесса обработки, влияния параметров настройки металлообрабатывающей системы и технологических режимов цепь формообразования можно сократить, ограничиваясь пространством технологического взаимодействия, образованным заготовкой и инструментом, т. к. взаимодействие именно этих элементов обуславливает в конечном счете процесс формообразования и образование погрешностей обработки. При этом сопряженные с ними объекты – приспособления и станок в данной постановке задачи можно не рассматривать, а их влияние заменить соответствующими связями. Полученную в результате ФС будем называть приведенной ФС.

В приведенной ФС независимо от принадлежности формообразующих элементов – F_p может быть представлена как функция текущего взаимного положения инструмента и заготовки в пространстве технологического взаимодействия (далее сокращенно функция положения – ФП).

В большинстве известных задач анализа и синтеза ФС рассматривается номинальное формообразование, т.е. учитываются движения, предписанные схемой обработки на завершающем этапе формирования обработанной поверхности, т. е. при фактическом отсутствии съема припуска. При этом геометрические параметры инструмента, определяющие характер его контакта с обрабатываемой поверхностью (точка, линия, поверхность), принимаются постоянными.

Модель реального формообразования в отличие от номинального строится с учетом действия доминирующих переменных формообразующих факторов, сопровождающих процесс обработки и обусловленных различными физическими причинами.

При двусторонней торцешлифовальной обработке (ДТШО) в процессе поступательного движения заготовки вдоль своей траектории подачи и съема припуска обе функции – ФИ и ФП в общем случае являются переменными из-за переменности текущего профиля шлифовальных кругов (ШК), находящегося в данный момент времени в контакте с заготовкой, и переменности формообразующих факторов [5] (в частности, различного характера вращения заготовок, переменных упругих и температурных смещений и т. п.)

Таким образом, ДТШО в силу своих особенностей может являться наглядным примером для обобщенного рассмотрения следующего класса задач теории формообразования: определение текущей обрабатываемой поверхности и ее погрешностей в произвольный момент процесса съема припуска при переменных функциях положения и инструмента, имеющих в качестве аргументов параметры, определяемые как номинальной схемой формообразования так и действием различных факторов.

В основе разработки многовариантной модели формообразования при решении подобного класса задач (при ДТШО, в частности) лежит блочно-модульный принцип ее построения.

Рассмотрим основные модули и этапы построения модели на примере ДТШО.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ФС С ЦЕЛЬЮ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ПАРАМЕТРОВ

1. Классификация процессов данного вида обработки в контексте рассмотрения процессов формообразования (т. е. такие классификационные признаки как место технологической операции в технологическом процессе изготовления заготовки (черновая, чистовая), физико-механические и эксплуатационные характеристики ШК, характеристики и способы подачи СОТС, уровень автоматизации и программного управления и другие подобные признаки в предложенной классификации не учитываются).

2. На основе предложенных классификационных признаков – схемная и факторная идентификация вариантов реализации процесса данного вида обработки.

Идентификационные признаки – детализированные геометрические, кинематические, физические характеристики процесса обработки, определяющие состав и свойства возможных цепей реального формообразования при заданных условиях технологической среды.

Схемные ИП – обусловлены номинальной геометро-кинематической схемой процесса обработки. Факторные ИП – обусловлены действием системных доминирующих факторов.

3. Создание таблиц соответствия схемных и факторных идентификационных признаков процесса обработки соответствующим идентификаторам формообразования.

Идентификатор формообразования – элементарное движение или смещение (или принципиальная невозможность элементарного смещения или движения) звена цепи формообразования (описываемое одной обобщающей координатой) под воздействием данного идентификационного признака. Пример фрагмента таблицы соответствия приведен ниже.

ГЕНЕРАЦИЯ ОБОБЩЕННЫХ БАЗОВЫХ ФУНКЦИЙ ПОЛОЖЕНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

1. На основе анализа возможных вариантов реализации процесса устанавливаются обобщенные базовые варианты ФС (число обобщенных базовых вариантов – j_6).

2. Для каждого базового варианта ФС устанавливается своя ЦФ с числом элементов l_{j_6} , с каждым элементом которой связывается система координат.

3. Формируются наглядные графические расчетные схемы обобщенных базовых ЦФ.

4. Каждому структурному элементу базовых ЦФ присваивается соответствующий единичный формообразующий код k_i [3].

Таблица – Примеры соответствия схемных и факторных идентификационных признаков процесса ДТШО идентификаторам формообразования

Идентификационный признак		Идентификатор формообразования
Схемный	Круговая подача заготовок	Угол поворота приспособления подачи
	Закрепление заготовки	Отсутствие вращения заготовки вокруг своей оси
	Вращение ШК в одну сторону	Линейное смещение заготовки
	Вращение ШК в разные стороны	Угловое смещение заготовки
Факторный	Упругие смещения ШК	Угол упругого смещения ШК относительно одной из осей
	Тепловые смещения ШК	Угол поворота ШК относительно одной из осей от действия тепловых деформаций МС

5. По единичному формообразующему коду i -го элемента k_i определяется тип каждой составляющей МП, по номеру i в ЦФ – соответствующие аргументы (параметры) МП.

6. В соответствии с установленными базовыми ЦФ, составляющими МП и их аргументами определяются так называемые базовые ФП.

7. На основе анализа возможных геометрических форм рабочих поверхностей ШК устанавливаются расчетные варианты ФИ.

ГЕНЕРАЦИЯ РАСЧЕТНОГО ВАРИАНТА ФУНКЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

1. Устанавливается обобщенная базовая ЦФ (с соответствующей ФП), к которой относится рассматриваемый вариант реализации процесса обработки.

2. На основании сводных таблиц – матриц идентификационных признаков процесса формообразования устанавливаются схемные и факторные идентификаторы формообразования применительно к данному варианту реализации процесса обработки.

3. Выбором необходимых идентификаторов формообразования из сводной таблицы-матрицы обобщенного варианта производится генерация формообразующего кода и ФП.

4. Выбирается расчетный вариант ФИ.

5. Формируется расчетный вариант ФФ (1).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩИХ АКТИВНЫХ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Одной из особенностей поточной обработки заготовок торцевыми поверхностями ШК является то, что в формировании поверхности заготовки в данный момент времени t участвует небольшая часть поверхности инструмента, ограниченная внутренним и внешним контуром заготовки. Точки на текущей формообразующей поверхности инструмента будем называть активными.

Для возможности математического описания трансформации обрабатываемых торцовых поверхностей в процессе удаления припуска при движении заготовки вдоль торцовых поверхностей ШК с переменной их геометрией необходимо найти текущее парное соответствие независимых координат точек обрабатываемой поверхности заготовки (x_3, z_3) и взаимодействующих с ними активных точек поверхности инструмента (x_u, z_u) (рисунок 1).

Искомое парное соответствие для заданных обобщенного варианта ЦФ и варианта ФИ найдем с использованием следующих преобразований:

1. Развернутая ФФ для одного из двух обрабатываемых торцов

$$r_3 = \prod_{i=1}^l A_i^{k_i}(q_i) r_u, \quad (2)$$

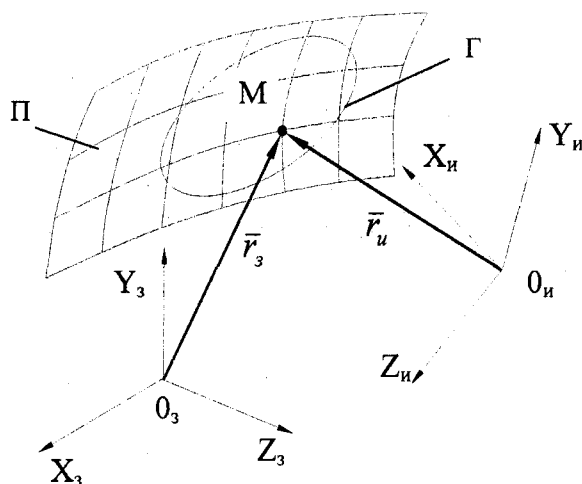


Рисунок 1 - К определению независимых координат текущих активных точек M инструмента (Π – поверхность инструмента, Γ – граница обрабатываемой поверхности заготовки)

где $A_i^{k_i}$ – i -я составляющая МП, k_i – формообразующий код i -го элемента ЦФ (в зависимости от реализованного движения или смещения элемента), q_i – аргумент МП – i -й параметр ФФ, l – общее число элементов ЦФ.

2. Из развернутой обобщенной ФФ (2), составленной с учетом l схемных и факторных идентификаторов формообразования, исключаются МП, связанные с малыми смещениями (как схемными, например, угловыми настроечными смещениями ШК, так и факторными, например, температурными смещениями ШК). В результате получим номинальную прямую ФФ

$$r_{3n} = \prod_{j=1}^{l_n} A_j^{k_j}(q_j) r_u, \quad (3)$$

где j порядковый номер элемента в номинальной ЦФ, l_n – общее число элементов номинальной ЦФ.

3. На основании свойства обратной матрицы произведения МП [3] получим выражение для обратной номинальной ФФ

$$r_{un} = \prod_{j=l_n}^1 A_j^{k_j} (-q_j) r_z, \quad (4)$$

4. Из уравнения (4) можно найти соотношения между независимыми координатами заготовки и инструмента, т. е. координаты текущих активных точек инструмента при $y_z = \text{const}$

$$\begin{aligned} x_u &= f(x_z, z_z) \\ z_u &= f(x_z, z_z). \end{aligned} \quad (5)$$

5. Подставляя x_u, z_u в уравнение инструмента в собственной системе координат вида $y_u = y_u(x_u, z_u)$, определим вектор текущей активной точки инструмента

$$r_u = [x_u \ y_u \ z_u \ 1]^T. \quad (6)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

При известных функции инструмента и ее аргументах ФФ данного базового варианта ЦФ включает в себя l параметров q_i . Для возможности математического описания и моделирования процесса обработки необходимо все переменные параметры (число переменных параметров l_n) выразить через один параметр – время τ или параметр q , изменение которого определяет текущую фазу процесса обработки, например, текущая угловое или линейное перемещение оси заготовки вдоль траектории подачи, т. е. наложить на параметры $(l_n - 1)$ функциональные связи (связи положения и кинематические) вида

$$q_i = f(\tau) \text{ или } q_i = f(q_r). \quad (7)$$

Параметры ФФ при реальном формообразовании могут быть:

1. Заданными постоянными величинами (например, геометрические характеристики наладки станка: расстояние между осями диска подачи и ШК, радиус траектории заготовок);

2. Вычисляемыми на основе линейных или нелинейных связей. Например, при ДТШО с круговой траекторией подачи свободных заготовок текущий угол поворота точки инструмента φ_v вычисляется с помощью заданной линейной связи параметров $k = w_v / w_d$

$$\varphi_v = k \varphi_d,$$

где w_v, w_d – угловые скорости шлифовального круга и загрузочного диска подачи заготовок, φ_d – угловое перемещение диска подачи;

угол поворота заготовки θ_l вычисляется с помощью нелинейной связи параметров $k = w_z / w_d = f(\varphi_d)$ для каждой точки траектории заготовки [6], т. е. для каждого φ_d

$$\theta_l = k \varphi_d.$$

Соответственно связи параметров могут быть линейными и нелинейными.

При моделировании процесса обработки как правило связи параметров (7) вычисляются в отдельных функциональных модулях в соответствии с отдельным алгоритмом. Пример определения связей переменных угловых упругих смещений ШК с фазовым параметром процесса q_r рассмотрен в [7].

АНАЛИЗ УСЛОВИЯ СЪЕМА ПРИПУСКА В ДАННОЙ ТОЧКЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Уравнения (2) и (7) определяют произвольную активную точку инструмента в системе координат, связанной с заготовкой. Для расчета обработанной поверхности в случае линей-

ного или точечного контакта 3 и И уравнения (2) и (7) решают совместно с уравнениями связей огибания [1].

В случае контакта по поверхности текущая обрабатываемая поверхность может быть определена при совместном решении (2), (7) и формализованного условия съема припуска

$$\begin{aligned} y_3(\tau - \Delta \tau) &> y_3(\tau) \\ \text{или} \\ y_3(q_\tau - \Delta q_\tau) &> y_3(q_\tau), \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Delta \tau$ и Δq_τ бесконечно малое приращение времени или фазового параметра процесса, y_3 – координата, соответствующая направлению нормали к номинальной обрабатываемой поверхности заготовки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В результате выполнения вышеописанных процедур могут быть вычислены массивы векторов точек обрабатываемых поверхностей в произвольный момент времени τ (или при произвольном значении фазового параметра q_τ).

$$r_3(q_\tau) = [x_3(q_\tau) \ y_3(q_\tau) \ z_3(q_\tau) \ 1]^T. \quad (9)$$

Обработанная поверхность окончательно формируется при таком значении τ (или q_τ), при котором условие (8) перестает выполняться для всех точек поверхности.

ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ И ВЫХОДНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Вычисление на основе (9) текущих или выходных погрешностей обработки, соответствующих регламентированным и измеряемым на практике показателям точности обработанных поверхностей, представляет собой отдельную расчетную метрологическую задачу.

Так точность осевого размера после ДТШО определяется выполнением условия

$$[H]^{min} \leq y_{31}(q_\tau) - y_{32}(q_\tau) \leq [H]^{max} \quad \text{при } x_3(q_\tau) = z_3(q_\tau) = 0,$$

где $y_{31}(q_\tau)$, $y_{32}(q_\tau)$ – ординаты точек двух обработанных торцевых поверхностей заготовки в общей системе координат, $[H]^{min}$, $[H]^{max}$ – минимальное и максимальное допустимые значения осевого размера.

Измеряемое на практике у обработанных роликов подшипников качения наибольшее торцевое биение без учета его спектральных составляющих можно рассчитать как разность максимального $y_3^{max}(\varphi)$ и минимального $y_3^{min}(\varphi)$ значений ординат точек, расположенных на наружном радиусе r_n торцевой поверхности, с полярными координатами (ρ, φ)

$$\Delta_T = y_3^{max}(\varphi) - y_3^{min}(\varphi) \quad \text{при } \rho = r_n, \ 0 \leq \varphi \leq 2\pi.$$

ВЫВОДЫ

Рассмотренные методологические аспекты на базе блочно-модульного принципа являются основой для построения моделей обрабатываемых поверхностей заготовок в произвольный момент процесса съема припуска при переменных функциях положения и инструмента, имеющих в качестве аргументов параметры, определяемые как номинальной схемой формообразования так и действием различных факторов.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений [Текст] / Ф.Л. Литвин. – М., Наука, 1968. – 584 с.
2. Базров, Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков [Текст] / Б.М. Базров. – М., Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Решетов, Д.Н. Точность металлорежущих станков [Текст] / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
4. Ивахненко, А.Г. Структурно-параметрический синтез технологических систем [Текст]: монография / А.Г. Ивахненко, В.В. Куц; Курск: Курск. гос. техн. ун-т., 2010. – 151 с.
5. Вайнер, Л.Г. Учет действия доминирующих факторов в задаче моделирования реального формообразования при двусторонней торцевшлифовальной обработке [Текст] / Л.Г. Вайнер // Новые материалы и технологии в машиностроении / Под общ. ред. Е.А. Памфилова. Сб. науч. трудов. Вып. 12. – Брянск: БГИТА, 2010, С. 1-8.
6. Вайнер, Л. Г. Влияние кинематики процесса двустороннего шлифования торцов деталей на точность обработки [Текст] / Л.Г. Вайнер // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2010. №5(2) (283). – С. 41-46.
7. Вайнер, Л. Г. Определение параметров технологического пространства при двусторонней торцевшлифовальной обработке [Текст] / Л.Г. Вайнер // Вестник машиностроения. – 2011. – № 12. – С. 72-77.

Вайнер Леонид Григорьевич

Кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Тел. (4212)-22-43-83

E-mail: lgvainer@mail.ru

L.G. VAINER

THE METHODOLOGY OF CREATION OF THE MODEL OF REAL FORM-SHAPING IN ALLOWANCE REMOVAL PROCESS ON EXAMPLE OF THE FACE GRINDING

On the basis of the theory of technological form-shaping methodological aspects of real form-shaping in allowance removal process modeling was considered on example of face grinding. Generation of variable form-shaping function is realizing with consideration of scheme and factor identifiers.

Key words: technological form-shaping, face grinding, stock allowance, real form-shaping function, working errors.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Litvin, F.L. Theory of gearing [Text] / F.L. Litvin. – M.: Science, 1968. – 584 p.
- [2] Bazrov, B.M. Technological basis of self-tuning machine-tools design [Text] / B.M. Bazrov. – M.: Mechanical engineering, 1978. – Pp. 216.
- [3] Reshetov, D.N. Machine-tool accuracy [Text] / D.N. Reshetov, V.T. Portman. – M.: Mechanical engineering, 1986. – 336 p.
- [4] Ivakhnenko, A.G. Structural-parametric synthesis of technological systems [Text]: monograph / A.G. Ivakhnenko, V.V. Kuts. – Kursk: Kursk State Tech. Universit. – 153 p.
- [5] Vayner, L.G. Consideration of the ruling factors effects in the problem of real form-shaping modeling in the double-disc grinding [Text] / L.G. Vayner // New materials and technologies in mechanical engineering / By ed. E.A. Pamfilov. Scientific collected papers. №12. – Bryansk: BGITA, 2010. – P. 1-8.
- [6] Vayner, L.G. Influence of kinematics of double-disc grinding process on machining accuracy [Text] / L.G. Vayner // Fundamental and applied problems of technique and technology. – 2010. – №5-2(283). – Pp. 41-46.
- [7] Vayner, L.G. Determining the parameters of the technological space in bilateral end grinding [Text] / L.G. Vayner // Bulletin of mechanical engineering. – 2011. – № 12. – Pp. 72-77.

Leonid Grigorievich Vainer

Pacific State University of Khabarovsk

Can. Sc. tech., Associate Prof.

Phone: (4212)-22-43-83

E-mail: lgvainer@mail.ru

Е.Н. ВАЛИКОВ, В.А. БЕЛЯКОВА

ПРОГРЕССИВНЫЙ СПОСОБ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В статье рассматривается новый способ чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес на заготовке с формообразованными зубьями, отличающийся высокими исправляющими способностями. Представлены схемы и циклограмма обработки цилиндрических зубчатых колес, технико-экономические показатели.

Ключевые слова: точность, цилиндрические зубчатые колеса, уровень шума, зубообработка, метод обката, малоотходная технология, шевер-прикатник, плавность работы.

ВВЕДЕНИЕ

В современной специальной литературе центральное место при изготовлении зубчатых колес занимают операции зубообработки, которые составляют в общей трудоемкости до 80 %.

Высокие требования к качеству обработки боковых (эвольвентных) поверхностей зубьев нельзя выполнить, если их обработку ограничить только зуборезными операциями. Поэтому в технологический процесс включают зубоотделочные операции: шлифование, притирку, хонингование и др. Существующие методы чистовой обработки, как правило, не могут быть использованы непосредственно для обработки заготовок зубчатых колес выполненных литьем, прессованием, полугорячей, холодной штамповкой. Поэтому актуальной является задача разработки способа чистовой обработки, обладающего высокими исправляющими способностями.

На кафедре ИМС ТулГУ разработаны способ, инструмент и оборудование для чистовой обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес, позволяющие повысить точность зубчатого венца по нормам кинематической точности, плавности, полноте контакта на 3...4 степени при высокой производительности, названный шевингованием-прикатыванием.

Шевингование-прикатывание – комбинированный процесс обработки зубчатых заготовок по методу свободного обката, основанный на срезании металла с заготовки вследствие скольжения зубьев инструмента относительно зубьев обрабатываемой заготовки за счет внеполюсного зацепления и тонкого пластического деформирования (выглаживания боковых поверхностей зубьев) [1].

На рисунке 1 показана схема шевингования-прикатывания цилиндрических зубчатых колес, а на рисунке 2 – циклограмма обработки.

Шевер-прикатник – 1 (рисунок 1) представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо, образующее с обрабатываемой заготовкой – 2 зубчатую пару внеполюсного зацепления с параллельными осями. На боковых поверхностях зубьев шевера-прикатника образованы режущие кромки в результате пересечения стружечных канавок с рабочими боковыми поверхностями [2].

Конструкция инструмента обеспечивает расположение режущих кромок на винтовых поверхностях и под углом к оси инструмента. Выбор параметров шага, количество заходов и угла наклона образующей винтовой линии; определяет схему срезания припуска.

Общий цикл обработки состоит из быстрого подвода, формообразования, выхаживания и быстрого отвода инструмента в исходное положение. Цикл формообразования содержит: 4...6 рабочих ходов, каждый из которых состоит из врезания (сближения осей инструмента и обрабатываемой заготовки на 0,03...0,05 мм), прямого вращения (например, по часовой стрелке до совершения количества полных оборотов инструмента – K , равного числу зубьев обрабатываемой заготовки – z), реверсирования, врезания, обратного вращения (против часовой стрелки до совершения количества полных оборотов инструмента – K , равных числу зубьев обрабатываемой заготовки); 1...2 ходов выхаживания, каждый из

которых состоит из прямого вращения (поворота инструмента на $K \cdot z$ оборотов, например, по часовой стрелки), реверсирования и обратного вращения (поворота инструмента на $K \cdot z$ оборотов в противоположном направлении).

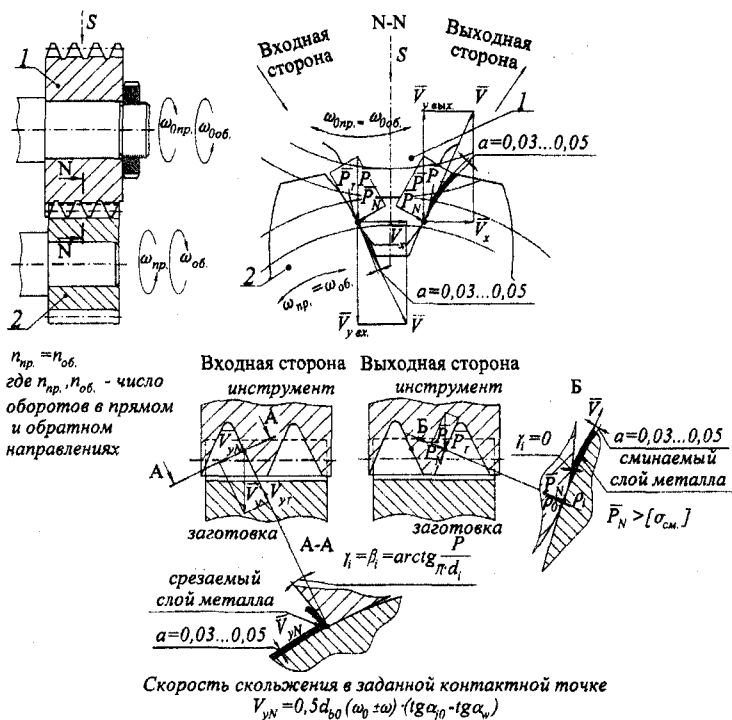


Рисунок 1 – Схема шевингования –прикатывания цилиндрических зубчатых колес
(ω , ω_0 – частота вращения обрабатываемой детали и инструмента; S – периодическая подача)

На рисунке 2 представлена циклограмма, состоящая из четырех рабочих ходов и двух ходов выхаживания.

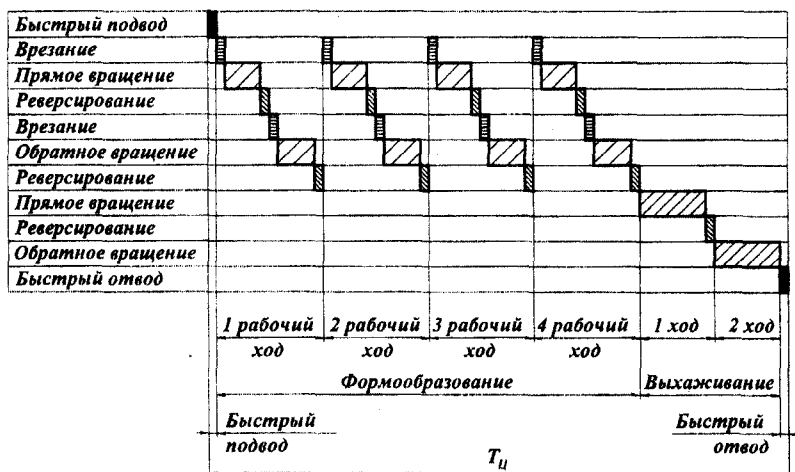


Рисунок 2 – Циклограмма шевингования-прикатывания

Время цикла T_{II} можно подсчитать по формуле:

$$T_{\mu} = T_{\text{БП}} + K_P \cdot T_P + K_B \cdot T_B + T_{\text{БО}},$$

где $T_{БП}$ – время быстрого подвода,

T_p – время рабочего хода,

T_B – время выхаживания,

$T_{БО}$ – время быстрого отвода.

Экспериментальными исследованиями установлено, что можно стабильно обеспечить точность шевингования-прикатывания цилиндрических и прямозубых конических зубчатых колес средних модулей 7...8 степени при обработке заготовок с зубьями, полученными полугорячей штамповкой в штампах с разъемными матрицами. Производительность обработки – 2...3 с/зуб.

Экономические и качественные показатели процесса шевингования-прикатывания цилиндрических зубчатых колес, управление процессом формообразования обработанной поверхности существенно зависит от рационального выбора числа зубьев производящих поверхностей, числа стружечных канавок и их соотношения с параметрами обрабатываемого зубчатого колеса.

Формообразование боковых поверхностей зубьев обрабатываемой заготовки совершается за количество оборотов инструмента, равное числу зубьев заготовки. Заготовка при этом совершает количество оборотов равное числу зубьев инструмента.

Разработаны различные схемы обработки, представленные на рисунках 3 и 4.

Для выявления достижимой точности шевингования-прикатывания и исправляющей способности процесса выполнены статистические исследования точности шевингования-прикатывания [3].

Для этого использовались заготовки предварительно нарезанные зубофрезерованием.

Обрабатывалась партия из 50 прямозубых цилиндрических колес с модулем 2 мм и числом зубьев 11 цилиндрическим шевером-прикатником с числом зубьев 31. Шевингование-прикатывание производилось на токарном станке 16К20 с использованием инструментального блока (рисунок 3,а).

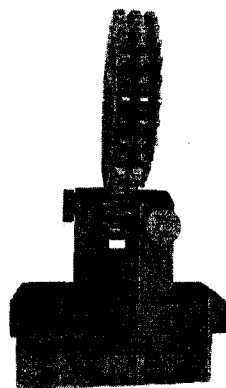
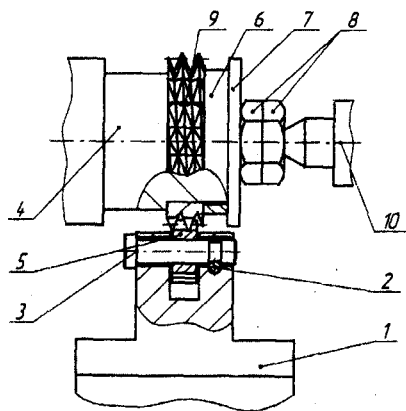
В результате обработки удалялся припуск 0,08...0,12мм по толщине зуба. Шероховатость после зубофрезерования составляла R_z 4,25 мкм. Шероховатость после шевингования-прикатывания – R_z 2,36 мкм. После шевингования-прикатывания прирост микротвердости составлял от 7 до 16 %.

Колеса измерялись по следующим параметрам: F_{rr} – радиальному биению зубчатого колеса, f_{ir} – наибольшему радиальному биению на одном зубе, F_{VWr} – колебанию длины общей нормали, f_{VWr} – наибольшему колебанию длины общей нормали соседних зубьев; f_{pr} – погрешности шага, F_p – накопленной погрешности шага до и после шевингования-прикатывания [3].

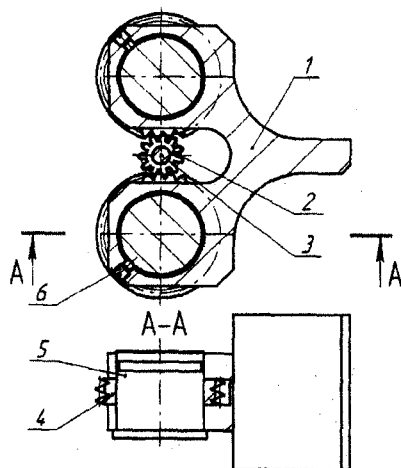
В результате экспериментального исследования получены следующие результаты.

Таблица – Результаты экспериментального исследования

Параметр точности	Обозначение параметра	Значение параметра, мм	
		после зубофрезерования	после шевингования-прикатывания
Радиальное биение	F_{rr}	0,085	0,06
Колебание ИМР за оборот	F_{ir}''	0,016	0,09
Колебание ИМР на одном зубе	f_{ir}''	0,09	0,05
Колебание длины общей нормали	F_{vw}	0,08	0,03
Наибольшая погрешность шага	f_{pr}	0,07	0,06
Накопленная погрешность шагов	F_{pr}	0,1	0,085



а



б

Рисунок 3 – Схемы шевингования-прикатывания:
а) одним шевером-прикатником с радиальной подачей,
б) двумя шеверами-прикатниками с тангенциальной подачей

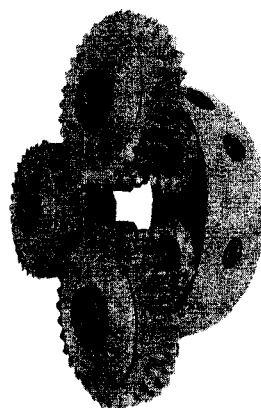
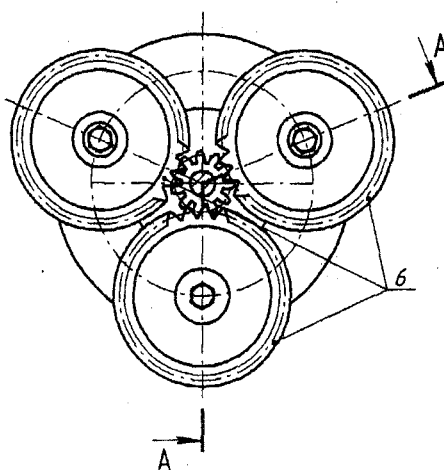
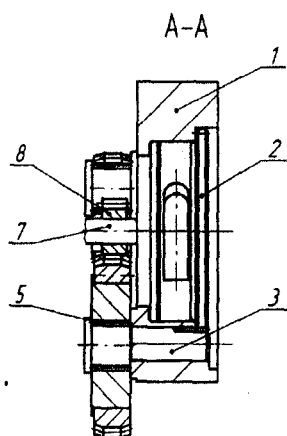


Рисунок 4 – Схема шевингования-прикатывания тремя шеверами-прикатниками с осевой подачей

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать вывод о том, что шевингование-прикатывание позволяет повысить точность зубчатых колес по нормам кинематической точности и плавности, что обеспечит снижение виброактивности и уровня шума.

Работа выполнена в соответствии с тематикой НИР ТулГУ (рег. № 7.1439.2011 «Базовые промышленные технологии формообразования зубьев цилиндрических колес для создания перспективных видов вооружения»).

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2224624 РФ, МПК 7 В 23 F 19/06. Способ шевингования-прикатывания цилиндрических зубчатых колес [Текст] / Карпухин В.П., Ямников А.С., Валиков Е.Н.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет – №2001132029/02; заявл. 27.11.2001; опубл. 27.02.2004, Бюл. №6 – 8 с.: 2 ил.

2. Пат. 2230635 РФ, МПК 7 В 23 F 21/28. Дисковый шевер [Текст] / Карпухин В.П., Ямников А.С., Валиков Е.Н.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет – №2001132030/02; заявл. 27.11.2001; опубл. 20.06.2004, Бюл. №17 – 4 с.: 2 ил.

3. Валиков, Е.Н. Режущее-деформирующая чистовая обработка боковых поверхностей зубьев зубчатых колес [Текст]: монография / Е.Н. Валиков, В.А. Белякова. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 216 с.

Евгений Николаевич Валиков

Доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Тел: (4872)33-25-38

E-mail: valikoven@rambler.ru

Валентина Александровна Белякова

Кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Тел: (4872)33-25-38

E-mail: valentina.belyakova@gmail.com

E.N. VALICOV, V.A. BELYAKOVA

PROGRESSIVE MODE OF DEFINITIVE PROCESSING OF TEETHS OF CYLINDRICAL COGWHEELS

In article the new mode of finishing processing of cylindrical cogwheels on preparation with got teeth, different high correcting abilities is considered. Schemes and cyclogram processings of cylindrical cogwheels, technical and economic indicators are presented.

Keywords: accuracy, cylindrical cogwheels, level of noise, processing of teeths, method obkata, the low-waste technology, shever-prikatnik, smoothness of work.

BIBLIOGRAPHY

[1]Stalemate. 2224624 Russian Federations, МПК 7 В 23 F 19/06. A mode shevingovaniya-prikatyvaniya cylindrical cogwheels [Text] / Karpuhin V.P, Jamnikov A.S., Valicov E.N.; the applicant and owner of the patent the Tula state university – №2001132029/02; declared 11/27/2001; published 2.27.2004, Bjul. №6 – 8 p.: 2 silt.

[2]Stalemate. 2230635 Russian Federations, МПК 7 В 23 F 21/28. Disk shever [Text] / Karpuhin V.P, Jamnikov A.S., Valicov E.N.; the applicant and owner of the patent the Tula state university – №2001132030/02; declared 11.27.2001; published 6.20.2004, Bjul. №17 – 4 p.: 2 silt.

[3]Valicov E.N. Cutting-deforming clean processing lateral surfaces cogwheels [Text]: the monograph / E.N. Valikov, V.A. Beljakova. - Tula: Publishing house TulGU, 2011. – 216 p.

Evgeniy Nikolaevich Valicov

Dr. Sci. Tech., the professor

FGBOU VPO «the Tula state university»

Phone: (4872)33-25-38

E-mail: valikoven@rambler.ru

Valentina Aleksandrovna Belyakova

Can. Tech. Sci., assistant professor

FGBOU VPO «the Tula state university»

Phone: (4872)33-25-38

E-mail: valentina.belyakova@gmail.com

А.Н. ИНОЗЕМЦЕВ, Н.И. ПАСЬКО, А.В. АНЦЕВ

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ САМООБУЧАЮЩИХСЯ СИСТЕМ

В статье рассматриваются возможности самообучения систем управления металлорежущими станками с целью достижения рационального режима резания, учитывающего производственные факторы, не учтенные в общемашиностроительных нормативах режимов резания.

Ключевые слова: режимы резания, износ, стойкостная зависимость, самообучение, управление

Производительность металлорежущего оборудования, себестоимость и точность обработки, расход режущего инструмента, качество поверхностного слоя и другие параметры процесса резания непосредственно зависят от правильного выбора режимов резания. Следовательно, установление рациональных режимов обработки относится к числу важнейших задач машиностроения. В реальном производстве практикуется назначение режимов резания в соответствии с нормативами. Однако, производственные условия, как правило, отличаются от нормативных. Сказывается влияние динамического состояния станка, колебания свойств заготовки и обрабатываемого инструмента и т. д. Учесть их на стадии проектирования технологического процесса не представляется возможным. Обычно учет реальных условий выполняется непосредственно станочником на рабочем месте, при этом оказывается неизбежным влияние субъективного фактора. Задача существенно осложняется в условиях применения новых обрабатываемых материалов, новых материалов инструмента, при внедрении новых технологических процессов, т. е. когда нормативные данные отсутствуют или не полные. Поэтому актуальной в современных условиях является задача автоматизации процесса назначения и уточнения режимов резания непосредственно на рабочем месте. Решение этой задачи становится возможным в связи с развитием систем управления и оснащением станков все более мощными системами ЧПУ класса PCNC.

Из производственного опыта и литературных источников известно, что с точки зрения минимума целевой функции желательно брать значения подачи и глубины резания максимально возможными, так как оптимум достигается на границе области допустимых значений этих параметров. Что касается скорости резания, то ее оптимальное значение находится, как правило, внутри интервала допустимых значений и более сложно для определения. Осложнение, в частности, связано с необходимостью учета стохастической природы стойкости инструмента. В связи с этим произведен анализ параметров надежности режущего инструмента и возможных причин и схем его отказа.

Для автоматизации процесса назначения скорости резания целесообразно использовать самообучающиеся системы управления. Поскольку провести в производственных условиях проверку всех возможных вариантов алгоритма самообучения не представляется возможным целесообразно проводить численные эксперименты на базе разработанной имитационной модели процесса резания.

Рассмотрим самообучающуюся систему управления для токарной обработки и сверления с постоянными условиями резания, основанной на использовании процедур стохастической аппроксимации и регрессионного анализа.

Процесс самообучения технологической системы операции сводится к следующему (рисунок 1):

1. На основании опыта или из справочных данных, задается начальное значение скорости резания V_1 .

2. Проводится эксперимент, заключающийся в обработке деталей до момента затупления режущего инструмента.

3. В ЭВМ вводится фактическое значение периода стойкости инструмента, полученное по результатам эксперимента.

4. Производится расчет скорости резания для следующей итерации по зависимостям процедур стохастической аппроксимации или регрессионного анализа.

5. Производится корректировка режима резания и вновь выполняется обработка деталей до момента затупления режущего инструмента.

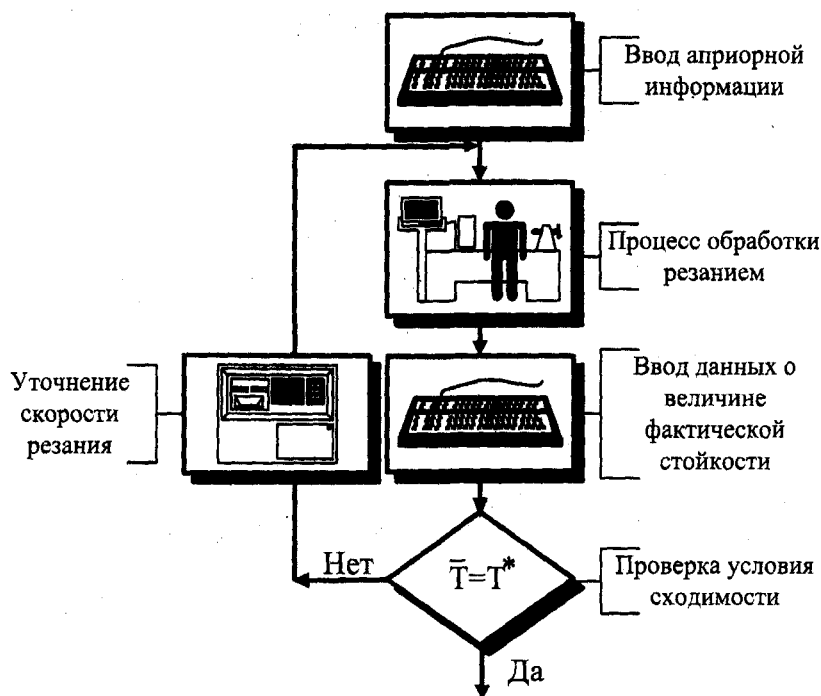


Рисунок 1 – Иллюстрация алгоритма самообучения применительно к процессу резания

В качестве ЭВМ на рабочем месте может быть использован портативный персональный компьютер типа notebook или устройство ЧПУ станком.

Применительно к процессу резания процедура стохастической аппроксимации Роббинса-Монро [1] сводится к следующему. Экспериментатор выбирает в допустимой области произвольное значение начальной скорости резания V_n , проводит эксперимент и наблюдает значение случайной функции $T(V_n)$ – стойкости инструмента. Относительно $T(V)$ известно только то, что ее математическое ожидание $\bar{T}(V)$ есть некоторая убывающая функция от скорости резания V . Так же выбирается убывающая с ростом числа экспериментов $i=1,2,\dots,n$ последовательность положительных чисел a_i – весовых коэффициентов, таких, что

$$\sum_{i=1}^{\infty} a_i = \infty, \quad \sum_{i=1}^{\infty} a_i^2 < \infty. \quad (1)$$

Стоящая перед экспериментатором задача состоит в следующем: определить такое значение скорости V_i , что $\bar{T}(V_i) = T^*$, где T^* – заданный нормативный период стойкости инструмента. Для выбора значения скорости V_{i+1} в следующем эксперименте используется рекуррентное соотношение вида:

$$V_{i+1} = V_i - a_i (T(V_i) - T^*). \quad (2)$$

После проведения i -го эксперимента экспериментатор знает значения скорости V_i и фактической стойкости $T(V_i)$. Тогда, используя соотношение (2), он может определить, какое значение скорости V_{i+1} будет использовано в $(i+1)$ -м эксперименте. Математически доказано, что алгоритм (2) при условии (1) в пределе дает скорость V^* , которая удовлетворяет условию $\bar{T}(V^*) = T^*$. Практически это значит, что в процессе последовательного эксперимента будет найдена скорость резания V^* , стабилизирующая процесс резания на среднюю стойкость инструмента T^* .

Недостаток процедуры стохастической аппроксимации Роббинса-Монро состоит в ее относительно медленной скорости сходимости, поэтому были предложены методы модификации этой процедуры. В основу процедуры Невельсона-Хасьминского положено предположение, что по двум наблюдениям $(V_i + c_i)$ и $(V_i - c_i)$ можно вычислить среднее значение тангенса угла наклона, используемого затем в качестве весового коэффициента a_i (рисунок 2). Обозначив

$$Z_i = \frac{T(V_i + c_i) - T(V_i - c_i)}{2 \cdot c_i}, \quad (3)$$

где i – номер эксперимента, при $i \rightarrow \infty$ имеем

$$W_i = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i Z_j \rightarrow a_i. \quad (4)$$

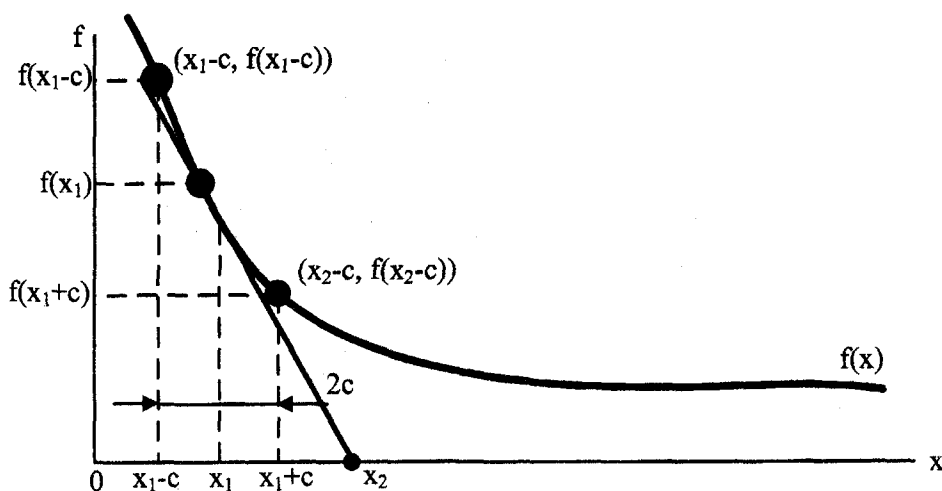


Рисунок 2 – Оценка среднего наклона в процедуре Невельсона-Хасьминского

Заменяя в (2) весовой коэффициент a_i рекуррентной формой записи среднего арифметического значений процесса Z_i :

$$W_i = W_{i-1} + \frac{1}{i} \cdot (-W_{i-1} + Z_i) \quad (5)$$

и считая, что в процедуре возможно использовать произведенные измерения в точках $(V_i + c_i)$ и $(V_i - c_i)$, приходим к процедуре стохастической аппроксимации Невельсона-Хасьминского:

$$V_{n+1} = V_n - \frac{1}{n \hat{W}_n} \cdot \left(\frac{T(V_n + c_n) + T(V_n - c_n)}{2} - T^* \right), \quad (6)$$

где c_i – константа проведения экспериментов такая, что $c_i \rightarrow 0$ при

$$i \rightarrow \infty \text{ и } \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{i \cdot c_i} \right)^2 < \infty, \quad (7)$$

а

$$\tilde{W}_n = \begin{cases} W_n & \text{и } \delta \tilde{W}_n \neq 0 \\ 1 & \text{и } \delta \tilde{W}_n = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

С целью дальнейшего ускорения процесса самообучения предложена процедура восстановления параметров стойкостной зависимости методом наименьших квадратов (МНК), в которой вид стойкостной зависимости предполагается известным с точностью до значения констант. В процессе обучения константы уточняются от итерации к итерации вместе с оптимизацией скорости резания. При имитационном моделировании период стойкости режущего инструмента оценивался по эмпирической зависимости вида:

$$\bar{T} = \frac{C_i}{V^m}. \quad (9)$$

Поскольку зависимость (9) нелинейна, то при оценке ее параметров целесообразно перейти к двойным логарифмическим координатам и произвести соответствующую замену переменных. Получаемый при этом линейный аналог зависимости имеет вид:

$$y = a - b \cdot x, \quad (10)$$

где

$$y = \ln T, x = \ln V, a = \ln C_i, b = m. \quad (11)$$

Константы a и b определяются методом наименьших квадратов. Для программной реализации МНК введены коэффициенты $K_1, K_{11}, K_2, K_{22}, K_{12}$, которые уточняются после каждого эксперимента по формулам:

$$K_1 = \frac{K_1 \cdot (i-1) + \ln V_i}{i}, \quad (12)$$

$$K_{11} = \frac{K_{11} \cdot (i-1) + (\ln V_i)^2}{i}, \quad (13)$$

$$K_2 = \frac{K_2 \cdot (i-1) + \ln T_i}{i}, \quad (14)$$

$$K_{22} = \frac{K_{22} \cdot (i-1) + (\ln T_i)^2}{i}, \quad (15)$$

$$K_{12} = \frac{K_{12} \cdot (i-1) + \ln V_i \cdot \ln T_i}{i}. \quad (16)$$

По результатам вычисления коэффициентов $K_1, K_{11}, K_2, K_{22}, K_{12}$ рассчитываются параметры стойкостной зависимости по формулам:

$$m = \frac{K_1 \cdot K_2 - K_{12}}{K_{11} - K_1^2}, \quad (17)$$

$$C_i = \exp(B) \cdot \exp\left(\frac{E}{2}\right), \quad (18)$$

где

$$B = K_2 + m \cdot K_1, \quad (19)$$

$$E = \frac{K_{22} + m^2 \cdot K_{11} + B^2 + 2 \cdot m \cdot K_{12} - 2 \cdot B^2}{2}. \quad (20)$$

При разработке моделей самообучающихся систем потребовалось решение частной задачи. В машиностроении достаточно большой процент металлорежущего оборудования оснащен системами ступенчатого регулирования скорости привода главного движения. При

имитационном моделировании обработки на оборудовании данного типа прослеживалось неустойчивое поведение процедур самообучения, заключающееся в нарушении сходимости ряда управляемого параметра. В качестве разрешения данной проблемы предложено использование самообучающейся системы, построенной на базе метода «вверх и вниз» [2].

Суть метода заключается в следующем. В области допустимых значений выбирается произвольная скорость резания V_i и соответствующий данному оборудованию знаменатель ряда скоростей привода главного движения ϕ . В любой момент времени испытывается один-единственный уровень. Если на i -м шаге процесса скорость имеет значение V_i , то последовательное правило сводится к тому, что на $(i+1)$ -м шаге испытание должно проводиться при значении

$$V_{i+1} = \begin{cases} V_i \cdot \phi, & \text{если } T_i < T^*, \\ V_i / \phi, & \text{если } T_i > T^*. \end{cases} \quad (21)$$

Проведенный сравнительный анализ представленных процедур самообучения показал, что наиболее быстро сходящийся алгоритм на базе метода восстановления стойкостной зависимости требует не только наличия априорной информации, но и повышенных объемов вычислительных ресурсов. И наоборот, чем меньше требования к вычислительным ресурсам априорной информации, тем медленнее алгоритм сходится.

На основании реальных производственных данных уточнена вероятностная модель медленного износа однолезвийного инструмента с учетом эпистемологической составляющей технологической системы. В реальных производственных условиях были проведены статистические исследования величины линейного износа по задней поверхности отработанного режущего инструмента – твердосплавных пластин. Анализ статистических данных показал, что предельный износ режущего инструмента – есть величина случайная. При этом 1 % твердосплавных пластин было заменено до наступления нормативного износа, 10,8 % пластин было заменено в связи с поломкой, и только 36,2 % достигло или превысило нормативный износ.

В соответствии с результатами статистических исследований распределение стойкости инструмента представляет собой композицию двух законов распределения независимых случайных величин – интенсивности износа $f_U(u)$ и предельно допустимого износа $f_L(l)$:

$$f_{LU}(l, u) = f_L(l) \cdot f_U(u). \quad (22)$$

Отсюда плотность распределения стойкости

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \int_0^{\infty} f_U(u) f_L(ut) \cdot u du. \quad (23)$$

Полученные данные показывают, что оценку параметров стойкостной зависимости и функции надежности инструмента невозможно проводить только на основании сведений о работе режущего инструмента до замены, как это обычно делается. Поэтому разработана методика сбора и анализа статистических данных о процессе резания и оценки параметров стойкостной зависимости и функции надежности режущего инструмента непосредственно в производственных условиях.

Особенность оценки параметров стойкостной зависимости в производственных условиях заключается в том, что нельзя вмешиваться с экспериментальными целями в процесс работы. В связи с этим рассмотрим случай, когда контроль износа инструмента проводится вне станка после его замены. Пусть X_i – величина износа i -го инструмента после его замены, $i = 1, 2, \dots, N$ – номера замеров износа для N последовательно заменяемых однотипных инструментов. Для каждого случая известно, что износ X_i получен после выполнения N_i переходов на одной или различных деталях, каждый из которых характеризуется своей ско-

ростью резания V_{ij} , подачей на оборот шпинделя s_{ij} , глубиной резания t'_{ij} , твердостью НВ обрабатываемого материала H_{ij} и выполняется в течение времени резания τ_{ij} . $j = 1, 2, \dots, N_i$ – номера различных переходов, выполняемых i -м инструментом. Методика ограничивается рассмотрением случая токарной обработки и сверления одинаковых или различных деталей одной группы обрабатываемости материала. Стойкостная зависимость ищется в виде

$$\tau = \frac{cx}{V^m s^\beta t'^\gamma H^\omega}, \quad (24)$$

где $c, m, \beta, \gamma, \omega$ – константы, которые нужно оценить по опытным данным, а τ – время резания, соответствующее приращению износа x . Если $X_{\max}$ – максимально допустимый износ инструмента, то стойкость инструмента в единицах времени резания

$$T = \frac{cX_{\max}}{V^m s^\beta t'^\gamma H^\omega}. \quad (25)$$

Считая, что стойкость инструмента распределена по закону Вейбулла-Гнеденко, получаем, что и τ распределено по такому же закону. Для оценки параметров $\hat{c}, \alpha, m, \beta, \gamma, \omega$ предлагается воспользоваться методом максимального правдоподобия, функция которого в данном случае выглядит

$$L(\hat{c}, \alpha, m, \beta, \gamma, \omega) = \ln \left(\prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{N_i} f(\tau_{ij} | x_{ij}, V_{ij}, s_{ij}, t'_{ij}, H_{ij}) \right) = \\ M \left(\ln \alpha - \overline{\ln \tau} + \alpha \overline{\ln c} - \alpha \ln \hat{c} - \frac{c^\alpha}{\hat{c}^\alpha} \right), \quad (26)$$

где

$$M = \sum_i N_i; \quad \overline{\ln \tau} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \ln \tau_{ij}, \quad (27)$$

$$\overline{\ln c} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \ln c_{ij}, \quad (28)$$

$$\overline{c^\alpha} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \ln c_{ij}^\alpha. \quad (29)$$

Величина c_{ij} , входящая в формулы (28, 29), определяется из

$$c_{ij} = \frac{1}{X_i} \sum_{j=1}^{N_i} \tau_{ij} V_{ij}^m s_{ij}^\beta t'_{ij}{}^\gamma H_{ij}^\omega. \quad (30)$$

Наилучшие оценки параметров $\hat{c}, \alpha, m, \beta, \gamma, \omega$ находятся из условия максимума функции правдоподобия (26). Получаемая в результате система шести уравнений нелинейна и в явном виде относительно неизвестных параметров $\hat{c}, \alpha, m, \beta, \gamma, \omega$ не решается, в связи с этим разработан алгоритм, реализующий поиск максимума функции правдоподобия методом перебора в области допустимых значений с постепенным сужением области поиска.

Процесс самообучения в этом случае состоит в том, что после фиксации параметров всех переходов (диаметр обработки, длина обработки, скорость резания, подача, глубина резания, твердость обрабатываемого материала), выполненными конкретным инструментом до очередного замера величины износа, производится оценка параметров стойкостной зависимости и функции надежности инструмента. Исходя из нормативной стойкости, по полученной уточняемой стойкостной зависимости рассчитываются новые скорости резания, которые используются для всех последующих переходов вплоть до очередного замера износа и т. д.

По результатам практической реализации самообучения на базе метода «вверх и вниз» предложена его модификация, заключающаяся в попутном уточнении параметров стойкостной зависимости с последующим использованием в расчетах не реальной стойкости инструмента, а ее оценки, полученной по восстановленной стойкостной зависимости. Решение о предпочтительной скорости резания на каждой итерации предложено принимать на основе вычисления функции потерь.

Проверка алгоритма самообучения на базе метода определения параметров стойкостной зависимости и функции надежности инструмента проведена на реальных изделиях в производственных условиях на ЗАО «Тяжпромарматура» (г. Алексин Тульской области). Наблюдался износ режущего инструмента при токарной обработке на станках с ЧПУ. В процессе обработки на каждой операции содержалось от 5 до 25 переходов, характеризующихся различными режимами резания. В результате были получены значения коэффициентов для функции надежности инструментов и стойкостной зависимости. В частности для обработки 5 деталей с числом переходов до 20 из материала сталь 9Г2С на токарно-винторезном станке 16А20Ф3С15 получена стойкостная зависимость

$$T = \frac{16.77 \cdot 10^8 \cdot h_{\max}}{V^{5.27} S^{1.84} f^{0.39}}$$

и вероятность безотказной работы инструмента

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\rho}\right)^{0.94}}$$

Проведенная практическая проверка показала, что предлагаемый алгоритм самообучения может быть реализован в станочных системах даже при отсутствии датчиков контроля. Однако отмечено, что наличие таких датчиков и системы ЧПУ типа PCNC позволит не только автоматизировать процесс самообучения, но и повысить его точность и надежность.

Полученные практические результаты показали адекватность используемых в методике самообучения моделей и возможность учета всех факторов действующих на интенсивность износа инструмента в конкретных производственных условиях.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Невельсон, М. Б. Стохастическая аппроксимация и рекуррентное оценивание [Текст] / М. Б. Невельсон, Р. З. Хасьминский. – М.: Наука, 1972. – 304 с.
2. Вазан, М. Стохастическая аппроксимация [Текст] / М. Вазан - пер. с англ. Э. М. Вайсборда. – М.: Мир, 1972. – 295 с.

Александр Николаевич Иноземцев
Доктор технических наук, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Тел: (4872) 35-18-87
E-mail: zem@tsu.tula.ru

Николай Иванович Пасько
Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Тел: (4872) 35-18-87

Анцев Александр Витальевич
Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Тел: (4872) 35-18-87
E-mail: antsev@tula.net

A.N. INOZEMTSEV, N.I. PASKO, A.V. ANTSEV

CUTTING MODE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BASED ON USING SELF-LEARNING SYSTEM

The opportunities of self-learning control systems of metal-cutting equipment for obtaining efficient cutting mode which takes into account production factors, not taken into account in common machine-building standards of cutting mode, are considered in this article.

Key words: cutting mode, wear, tool life dependence, self-learning, control

BIBLIOGRAPHY

[1] Nevelson, M.B. Stochastic approximation and recurrence measurement [Text] / M.B. Nevelson, R. Hasminsky. – M.: Science, 1972. – 304 p.

[2] Vazan, M. Stochastic approximation [Text] / M. Vazan - transl. from en. A.M. Vicebord. – M.: Mir, 1972. 295 p.

Aleksandr Nikolaevich Inozemtsev

Doctor of Engineering, professor

Tula State University,

Tula

Phone: (4872)35-18-87

E-mail: zem@tsu.tula.ru

Nicolay Ivanovich Pasko

Doctor of Engineering, professor

Tula State University,

Tula

Phone: (4872)35-18-87

Alexander Vitalyievich Antsev

Candidate of Engineering, associate professor

Tula State University,

Tula

Phone: (4872)35-18-87

E-mail: antsev@tula.net

УДК 621.91.013.3

Н.В. КАНАТНИКОВ, Г.А. ХАРЛАМОВ

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ТЫЛОВОЙ КРОМКИ ЗУБОСТРОГАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

В статье определяется влияние угла наклона тыловой кромки зубострогального резца на осевые составляющие силы резания в процессе нарезания зубьев на цельных заготовках. Выделяются факторы, определяющие границы изменения данного угла.

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

Обычно технологический процесс нарезания прямых зубьев конического колеса включает в себя черновую и чистовую обработку. На первом этапе зубья предварительно прорезаются черновыми резцами, затем профилируются чистовыми. Однако для мелкомодульных колес предварительное нарезание становится невозможным, так как трудно с достаточной точностью ввести чистовые резцы в уже прорезанные впадины, поэтому обработка ведется универсальными резцами. При использовании данного типа резцов увеличивается площадь срезаемого слоя и, соответственно, сила, возникающая в процессе резания.

Оптимизация эксплуатационных возможностей зубострогальных станков по производительности и качеству нарезаемых колес связана, в первую очередь, с определением максимальной амплитуды сил резания и их изменением в процессе обката.

Сила резания во многом определяет мощность станка, требуемую для обработки заготовки, необходимую жесткость отдельных его узлов, допустимую жесткость детали и применяемого приспособления. Кроме того, сила резания влияет на работоспособность зубострогальных резцов.

При изучении процессов, происходящих при резании металлов, в частности динамики зубострогания, основной задачей является определение степени влияния различных факторов на составляющие силы резания.

К настоящему времени разработаны ряд методик, позволяющих определить условия работы инструментов, работающих по методу обката, экспериментальным путем. Однако получение необходимой аналитической информации связано с большими техническими трудностями, что обусловлено сложностью выделения той части силовой нагрузки, которая приходится на каждую отдельно взятую режущую кромку.

При зубострогании трапециевидными зубострогальными резцами. Профилирующая кромка и носик резца обеспечивают требуемую геометрию зубчатого колеса. Тыловая кромка, в свою очередь, обеспечивает необходимые углы резания. Угол наклона тыловой кромки варьируется в пределах от 8° (для резцов ГОСТ 5392-90), до 20° (для универсальных резцов). Однако при минимальных углах наклона тыловой кромки возможна ситуация, при которой резец потеряет работоспособность, а при максимальных возрастает рабочая площадь инструмента, что приводит к увеличению силы, возникающей в процессе резания. Задача данной работы – определить зависимость между силой резания и углом наклона тыловой кромки зубострогального резца.

Для универсального изучения сил, возникающих при строгании зубьев, была использована методика, представленная в работе [1]. Основой для расчета служит математическое отображение схемы резания. В общем виде, в декартовых координатах, ее можно представить следующим образом [2]:

$$\begin{aligned} X &= f(l, \Phi, \Delta h); \\ Y &= f(l, \Phi, \Delta h); \\ Z &= f(l, \Phi, \Delta h), \end{aligned} \quad (1)$$

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

l – параметр движения резания;

Φ – угол поворота резца;

Δh – параметр режущего лезвия.

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

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

В начале производится расчет удельных сил. 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:

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

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

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 0,01 мм:

$$\Delta P_z = (57 + 2210a) K_{pz}; \quad (5)$$

$$\Delta P_y = (67,5 + 1480a) K_{py}. \quad (6)$$

Суммируя удельные силы, возникающие на элементарном участке режущего лезвия, получим:

$$P_z = \sum \Delta P_z \Delta l K_{сш}. \quad (7)$$

Значения составляющих силы резания, возникающих на боковых режущих кромках, рисунок 1:

$$P_y = \sum \Delta P_y \Delta l \sin(\alpha' \pm \Phi) K_{cl}; \quad (8)$$

$$P_x = \sum \Delta P_y \Delta l \cos(\alpha' \pm \Phi) K_{cl}, \quad (9)$$

и вершине режущего лезвия:

$$P_y = \sum \Delta P_y \Delta l \cos \Phi K_{cl}; \quad (10)$$

$$P_x = \sum \Delta P_y \Delta l \sin \Phi K_{cl}, \quad (11)$$

где $\pm$ – входная или выходная кромка;

Δl – элемент режущего лезвия;

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

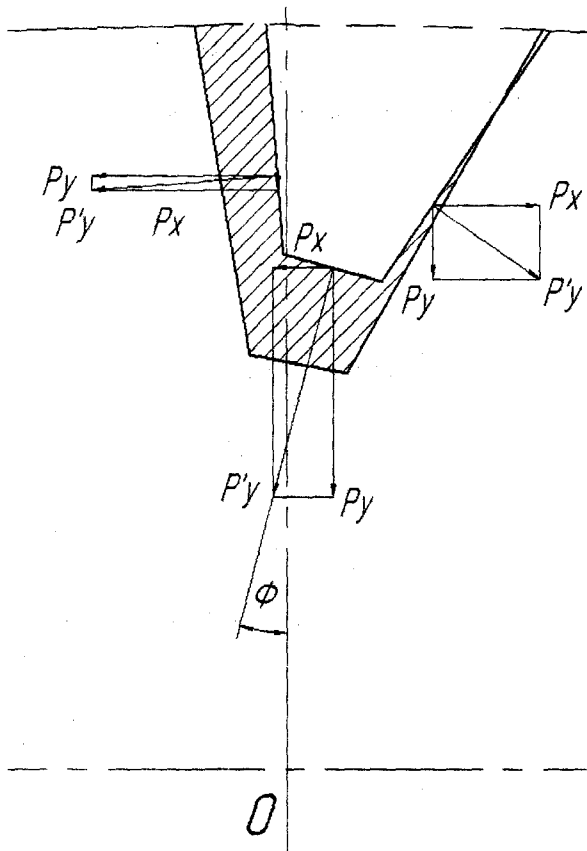


Рисунок 1 – Определение составляющих силы резания при обработке зубострогальным резцом

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

Для определения зависимости значения осевых составляющих силы резания от угла наклона тыловой кромки зубострогального резца рассмотрим, в качестве примера, процесс обработки зубчатого колеса $m=2$ мм, $Z=40$, $\varphi = 45^\circ$ без предварительной прорезки впадин универсальным зубострогальным резцом и специальным зубострогальным резцом на одинаковых режимах резания: $n=350$ дв.ход/мин; $t_z=12$ сек. Угол наклона профилирующей кромки у зубострогальных резцов примем равным углу зацепления, $\alpha_{пв} = \alpha_{пс} = 20^\circ$. Угол наклона тыловой кромки: $\alpha_{тв} = 20^\circ$, для универсального резца и $\alpha_{тс} = 8^\circ$, для специального.

На рисунках 2 и 3 представлены графики изменения осевых составляющих силы резания в торцевом сечении.

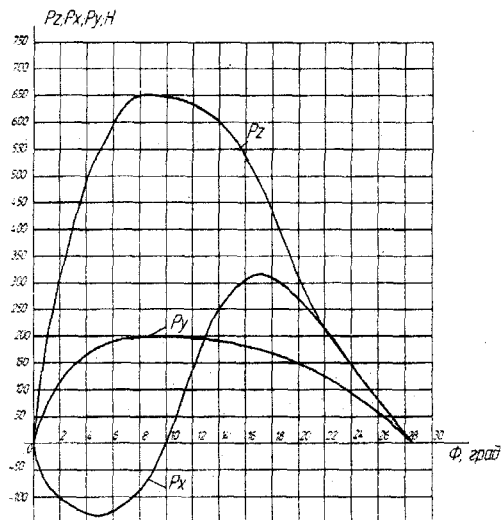


Рисунок 2 – Осевые составляющие силы резания при строгании универсальным резцом

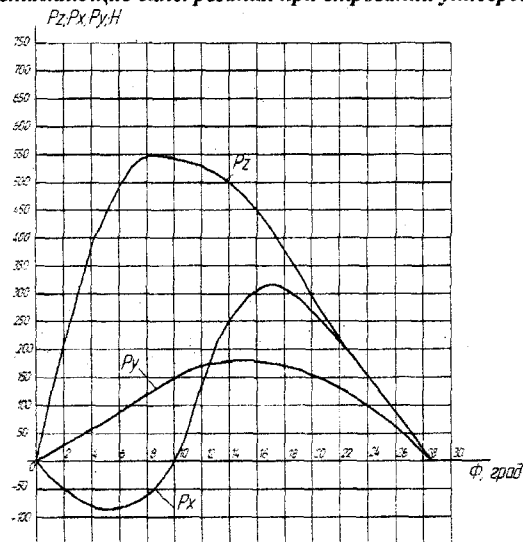


Рисунок 3 – Осевые составляющие силы резания при строгании специальным резцом

Из графиков видно, что при значении угла тыловой кромки в 8° максимальная осевая составляющая силы резания уменьшается на 15% по сравнению с силами, возникающими при строгании универсальным резцом. Стоит отметить, что данные изменения происходят на этапе врезания резца в заготовку. На участке профилирования значения осевых составляющих силы резания не меняются. Однако можно сделать вывод, что при уменьшении угла наклона тыловой кромки зубострогального резца максимальное значение осевой силы резания уменьшается и при проектировании специального инструмента следует стремиться к минимальному значению данного параметра.

Одним из необходимых условий сохранения работоспособности зубострогальных резцов, работающих в цельных заготовках, является выполнение следующего неравенства:

$$\lambda_T + \Delta\lambda_T \leq [\lambda_T], \quad (12)$$

где λ_T – задний угол резания образующийся при работе тыловой кромки резца;

$\Delta\lambda_r$ – кинематическое изменение заднего угла резания происходящее в процессе обработки;

$[\lambda_r]$ – минимальное допустимое значение заднего угла, для процесса зубострогания (согласно рекомендациям, приведенным в [4], примем $[\lambda_r] = 2^\circ$).

Зубострогальные резцы не имеют угла задней заточки; задние углы при резании образуются в результате того, что резцедержатель наклонен к линии движения резца на угол $\Gamma_u = 12^\circ$.

Рассмотрим процесс зубострогания резцом с углом заточки тыловой кромки 8° (рисунк 4).

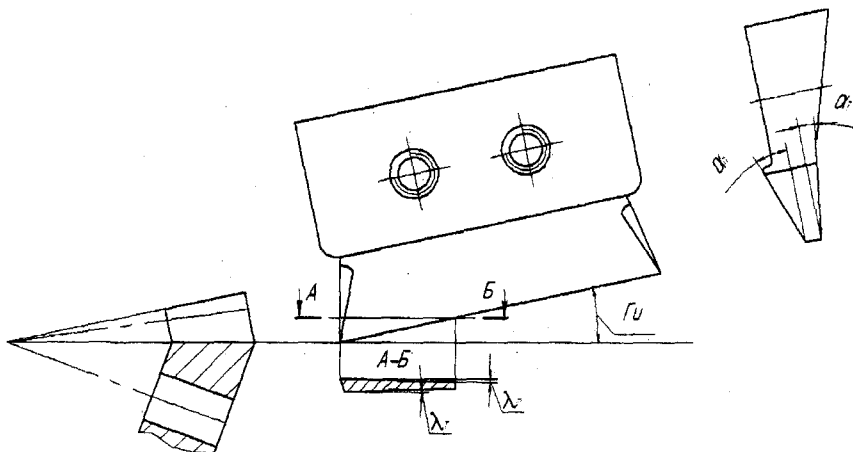


Рисунок 4 – Схема процесса зубострогания

Задние углы в плоскости АБ, параллельной направлению движения резца равны:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_{\Pi} &= \sin \alpha'_{\Pi} \operatorname{tg} \Gamma_u, \\ \operatorname{tg} \lambda_r &= \sin \alpha'_r \operatorname{tg} \Gamma_u, \end{aligned} \quad (13)$$

где α'_{Π}, α'_r – угол наклона профилирующей кромки и тыловой кромки резца в сечении, перпендикулярном направлению движения соответственно;

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha'_{\Pi} &= \operatorname{tg} \alpha_{\Pi} \cos \Gamma_u, \\ \operatorname{tg} \alpha'_r &= \operatorname{tg} \alpha_r \cos \Gamma_u, \end{aligned} \quad (14)$$

α_{Π}, α_r – угол наклона профилирующей кромки и тыловой кромки резца соответственно;

Подставим выражение (14) в выражение (13) и выразим λ_r :

$$\operatorname{tg} \lambda_r = \sin(\alpha_r \cdot \operatorname{arctg} \cos \Gamma_u) \cdot \operatorname{tg} \Gamma_u. \quad (15)$$

Подставим числовые данные в выражение (15) и получим:

$$\lambda_r = 1,62^\circ < 2^\circ = [\lambda_r]. \quad (16)$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что резцы с углом наклона тыловой кромки в 8° можно применять только в том случае, если впадины зубьев предварительно прорезаны. Они не могут нарезать зубья на цельных заготовках, так как тыловая кромка имеет слишком малый угол наклона.

Определим оптимальный угол наклона тыловой кромки зубострогального резца при следующем режиме резания: $n=350$ дв.ход/мин; $t_z=12$ сек. При данном режиме резания максимальное кинематическое изменение заднего угла составит: $\Delta\lambda_r = 0,1^\circ$ (по методике изложенной в [3]). Тогда, минимальное допустимое значение образующегося заднего угла по формуле (12), составит: $\lambda_r = 2,1^\circ$.

Выразив из выражений (13) и (14) α_T получим:

$$\operatorname{tg} \alpha_T = \frac{\operatorname{tg} \left(\arcsin \frac{\operatorname{tg} \lambda_T}{\operatorname{tg} \Gamma_u} \right)}{\cos \Gamma_u}. \quad (17)$$

Подставив числовые значения в выражение (16) получим: $\alpha_T = 10,1^\circ$.

Определим осевые составляющие силы резания при данном угле тыловой кромки (рисунк 5).

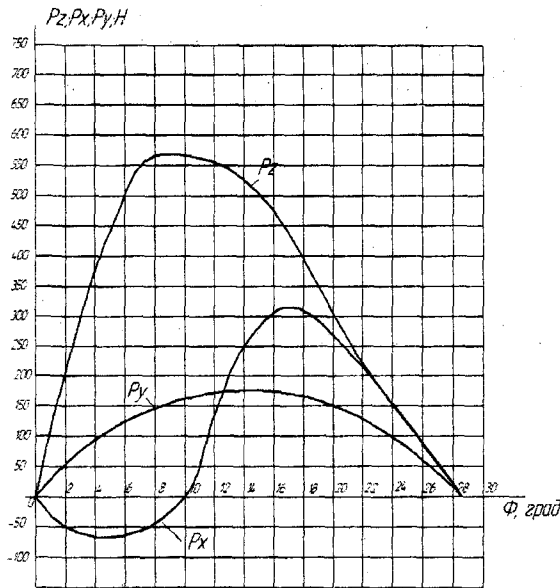


Рисунок 5 – Изменение осевых составляющих силы резания при зубострогании резцом с минимально допустимым углом наклона тыловой кромки

Из графика, представленного на рисунке 5 видно, что максимальная составляющая силы резания уменьшается на 12 % по сравнению с обработкой универсальным резцом.

В данной работе было выявлено влияние угла наклона режущей кромки на осевые составляющие силы резания в процессе зубострогания. Были обозначены границы, в которых возможно изменения данного параметра и не произойдет изменения геометрии колеса, а также уменьшения ниже требуемых значений рабочих углов инструмента. Было показано, что при оптимизации угла наклона тыловой кромки зубострогального резца, максимальная амплитуда силы, возникающей в процессе обработки, уменьшится более чем на 10 %.

Таким образом, при проектировании специального инструмента следует стремиться к минимальному значению угла наклона тыловой кромки зубострогального резца, что позволит оптимизировать эксплуатационные возможности зубострогальных станков, увеличить стойкость инструмента, и в конечном итоге приведет к повышению производительности процесса.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Евдокимов, В.А. Вариант расчета силы резания при различных методах обработки с помощью ЭВМ. [Текст] / В.А. Едокимов, А.С. Тарапанов : Совершенствование методов обработки металлов резанием. – Орел: Орловское областное правление НТО МАШПРОМ, 1981.

2.Харламов, Г.А. Теория проектирования процессов лезвийной обработки. [Текст] / Г.А. Харламов, 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.

4.Кедринский, В.Н. Станки для обработки конических зубчатых колес [Текст] / В.Н. Кедринский, К.М. Писманик. - М.: Машиностроение, 1967. – 588 с.: ил.

Канатников Никита Владимирович

аспирант направления 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

телефон: (4862)550802;

E-mail: NKanatnikov@ya.ru

Харламов Геннадий Андреевич

ФГОУ ВПО «Государственный университет – УПНК», г. Орел, Россия

д.т.н., профессор

телефон: (4862)416575;

E-mail: upk@ostu.com

N.V. KANATNIKOV, G.A. HARLAMOV

INFLUENCE OF A TILT ANGLE A REAR EDGE OF A RECIPROCATING GEAR CUTTER ON CUTTING FORCE

In the article are defined influences of a tilt angle of a rear edge of a reciprocating gear cutter on axial components of cutting forces during the cutting process of a teeth on integral preparations. Also, in the article was offered the factors which determine the limits of variation of the angle

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

BIBLIOGRAPHY

[1] Evdokimov, V.A. The version of calculation force of cutting at various methods of processing with the COMPUTER assistance [Text] / V.A. Evdokimov, A.S. Tarapanov : Improvement methods of processing metals by cutting. – Орел: Орел Region Department NTO MASHPRM, 1981.

[2] Harlamov, G.A. Theory of design processes of blading processing. [Text] / G.A. Harlamov, A.S. Tarapanov. - M: Mechanic engineering, 2003. – 252 p.

[3] Kanatnikov, N.V. Mathematical display of the kinematic scheme of a bevel gear cutting [Text] / N.V. Kanatnikov // “Fundamental and applied problems of modernization modern mechanical engineering and metallurgy”. – The materials of international conferences – Lipeck.: LGTU, 2012

[4] Kedrinskiy, V.N. Machines for processing of bevel gear [Text] / Kedrinskiy V.N., Pismanik K.M. - M.: Mechanic engineering, 1967. – 588 p.

Kanatnikov Nikita Vladimirovich

FSEI HVT «State University – ESPC»

Postgraduate student

Phone: (4862)550802;

E-mail: NKanatnikov@ya.ru

Harlamov Genadij Andreevich

FSEI HVT «State University – ESPC»

Doctor of Engineering Science, professor

Phone: (4862)416575;

E-mail: upk@ostu.com

УДК 621.9

А.В. КАТУНИН

СООТНОШЕНИЕ ФОРМЫ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО КОНТАКТА И ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗЫ ВРЕЗАНИЯ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ

В статье рассматриваются результаты моделирования процесса врезания режущей части инструмента в заготовку

Ключевые слова: прерывистое резание, врезание, режущая часть

Анализ публикаций показывает, что при прерывистом резании одним из факторов, определяющих стойкость инструмента, являются условия его врезания в заготовку.

Основными характеристиками процесса врезания являются: форма первоначального контакта инструмента с заготовкой, скорость нарастания силы резания, скорость нарастания деформации инструмента, коэффициент динамичности силы резания и деформации инструмента, величина среднего контактного давления на передней поверхности режущей части инструмента, уровень напряжений в режущей части инструмента.

Технологические операции, совершаемые в условиях прерывистого резания, по причине их большой распространенности, требуют постоянного совершенствования с целью повышения производительности и снижения себестоимости. Основой для этого являются научные исследования закономерностей прерывистого резания, знание которых позволяет с большей достоверностью оценивать режущую способность и надежность инструмента – наиболее слабого звена системы СПИД.

Одним из эффективных средств познания закономерностей прерывистого резания является его имитационное моделирование на базе метода конечных элементов. Для его реализации была разработана трехмерная конечно-элементная имитационная модель процесса врезания режущей части токарного резца в заготовку в среде DEFORM 3D [1].

С целью определения характера изменения главной составляющей силы резания и соотношения характеристик фазы врезания при прерывистом резании, было проведено имитационное моделирование. В качестве технологических параметров прерывистого точения стали 45 применялись: скорость резания - 100 м/мин, подача - 0,2 мм/об, глубина резания - 1 мм. Геометрические элементы режущей части: передний угол γ принимал значения: -5° , 0° , 5° , 10° ; угол наклона режущей кромки λ : 0° , 5° , 10° ; радиус при вершине $r_b=0,4$ мм; угол при вершине в плане $\beta=80^\circ$; радиус округления режущей кромки $r=0,02$ мм.; главный задний угол $\alpha=8^\circ$; угол в плане $\phi=75^\circ$; вспомогательный угол в плане $\phi_1=25^\circ$.

При моделировании процесса врезания, в зависимости от изменения углов γ и λ , определялись: форма первоначального контакта инструмента с заготовкой; величина и скорость нарастания главной составляющей силы резания; среднее контактное давление по передней поверхности режущей части, эффективные, гидростатические и главные напряжения в режущей части инструмента

Аналитическое определение формы первоначального контакта инструмента с заготовкой при прерывистом резании является непростой и трудоемкой задачей. Разработанная конечно-элементная имитационная модель позволяет в наглядном виде определять не только форму первоначального контакта инструмента с заготовкой, но и её изменение по мере врезания.

На рисунке 1 показана зона возможного первоначального контакта инструмента и заготовки. В рамках исследуемых геометрических параметров режущей части возникали следующие формы первоначального контакта инструмента с заготовкой (рисунок 1): ABCDE, AE, D, A, B.

В обозначениях формы контакта инструмента и заготовки на рисунках 2–8 первая буква указывает на его первоначальный вид, при этом через тире стоят буква или сочетание букв, указывающие направление изменения формы контакта по мере врезания режущей части в заготовку.

На рисунках 2, 3 и 4 представлены графики изменения главной составляющей силы резания в зависимости от переднего угла γ и угла наклона режущей кромки λ . Из них видно, что сила резания постепенно выходит на уровень, соответствующий установившемуся резанию. “Всплеска” главной составляющей силы резания при врезании инструмента в заготовку проведенное моделирование не выявило.

Скорость нарастания силы резания в значительной степени зависит от формы первоначального контакта, определяемой углами γ и λ режущей части инструмента. С увеличени-

ем угла λ скорость нарастания главной составляющей силы резания уменьшается (рисунки 2, 3, 4). Увеличение угла γ при фиксированном угле λ также приводит к уменьшению скорости нарастания главной составляющей силы резания.

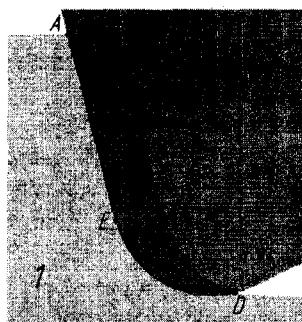


Рисунок 1 – Схема зоны контакта режущей части инструмента с заготовкой при врезании:
1 – заготовка; 2 – режущая часть инструмента; 3 – зона возможного первоначального контакта инструмента с заготовкой

Наибольшая скорость нарастания главной составляющей силы резания (интенсивность удара), на момент времени $t=0,6 \cdot 10^{-5}$, имеет место при $\lambda=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$ и форме первоначального контакта по всей площади фигуры ABCDE (рисунки 1, 2).

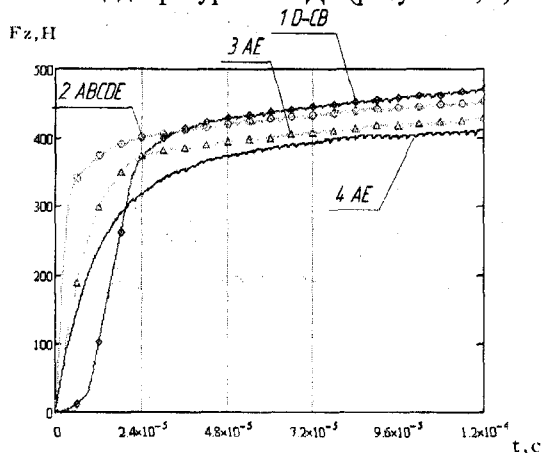


Рисунок 2 – Графики изменения главной составляющей силы резания в зависимости от переднего угла при угле наклона режущей кромки $\lambda=0^\circ$:
1 – $\gamma=-5^\circ$; 2 – $\gamma=0^\circ$; 3 – $\gamma=5^\circ$; 4 – $\gamma=10^\circ$

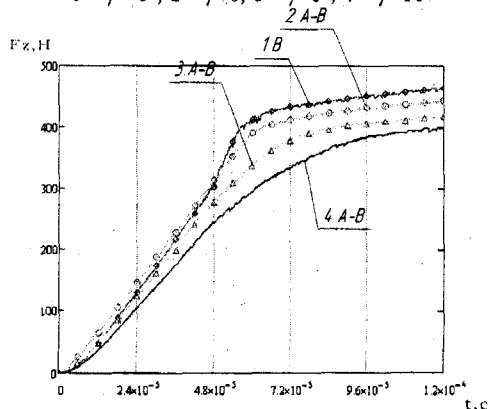


Рисунок 3 – Графики изменения главной составляющей силы резания в зависимости от переднего угла при угле наклона режущей кромки $\lambda=5^\circ$:
1 – $\gamma=-5^\circ$; 2 – $\gamma=0^\circ$; 3 – $\gamma=5^\circ$; 4 – $\gamma=10^\circ$

Наименьшая скорость нарастания главной составляющей силы резания до момента времени $t=0,6 \cdot 10^{-5}$ с соответствует углам $\lambda=10^\circ$, $\gamma=10^\circ$ и форме первоначального контакта по точке А на главной режущей кромке (рисунок 4).

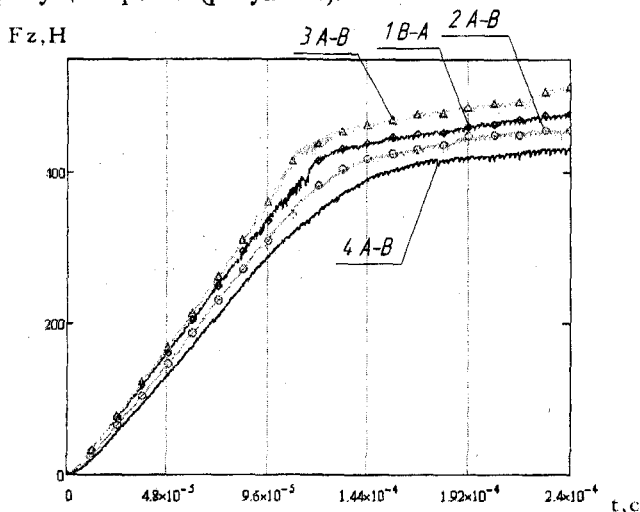


Рисунок 4 - Графики изменения главной составляющей силы резания в зависимости от переднего угла при угле наклона режущей кромки $\lambda=10^\circ$:
1 - $\gamma=5^\circ$; 2 - $\gamma=0^\circ$; 3 - $\gamma=5^\circ$; 4 - $\gamma=10^\circ$

При одной и той же форме первоначального контакта и постоянном угле λ скорость нарастания силы резания и её величина при установившемся резании зависят от переднего угла γ (рисунки 3, 4).

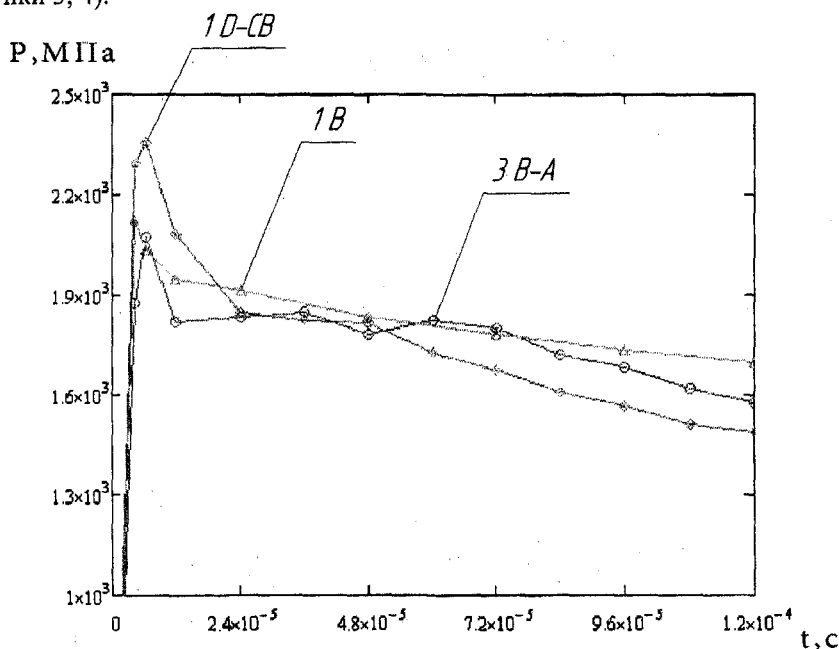


Рисунок 5 - Графики изменения среднего контактного давления по передней поверхности в зависимости от угла наклона режущей кромки λ при переднем угле $\gamma=5^\circ$:
1 - $\lambda=0^\circ$; 2 - $\lambda=5^\circ$; 3 - $\lambda=10^\circ$

На рисунках 5, 6, 7 и 8 представлены графики изменения среднего контактного давления по передней поверхности режущей части. Примечательно, что на большинстве из них

имеет место ярко выраженный максимум, который может значительно превосходить среднее давление при установившемся резании.

Наибольшая величина среднего контактного давления на передней поверхности режущей части инструмента, равная $3,4 \cdot 10^3$ МПа, возникает при $\lambda=0^\circ$, $\gamma=10^\circ$ и форме первоначального контакта АЕ, то есть по главной режущей кромке. Она более чем в два раза превосходит уровень среднего контактного давления при установившемся резании.

Наименьшая величина среднего контактного давления по передней поверхности режущей части на момент времени $t=0,6 \cdot 10^{-5}$, равная $1,8 \cdot 10^3$ МПа, возникает при $\lambda=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$ и форме первоначального контакта по плоскости АВСДЕ.

Р, МПа

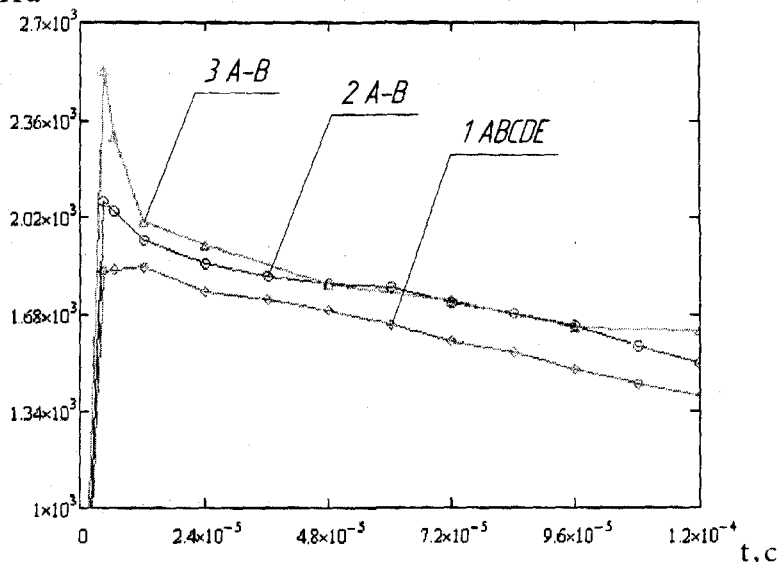


Рисунок 6 - Графики изменения среднего контактного давления по передней поверхности в зависимости от угла наклона режущей кромки λ при переднем угле $\gamma = 0^\circ$:

1 - $\lambda = 0^\circ$; 2 - $\lambda = 5^\circ$; 3 - $\lambda = 10^\circ$

Р, МПа

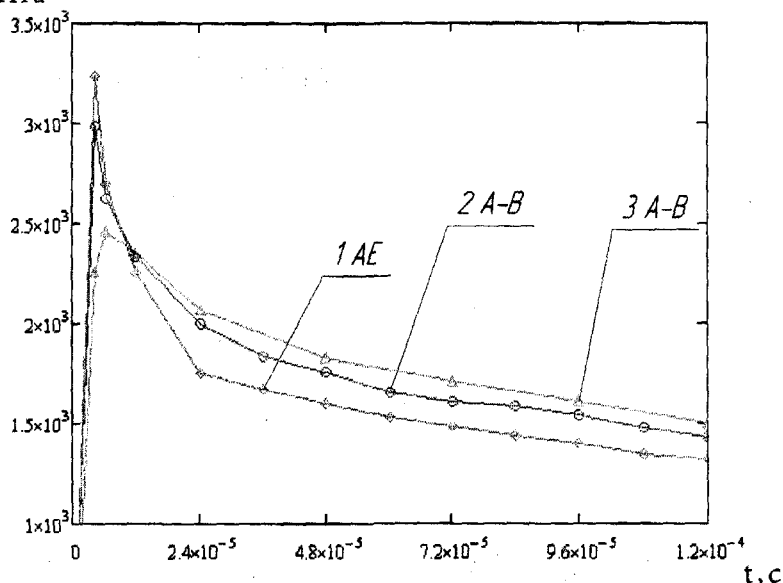


Рисунок 7 - Графики изменения среднего контактного давления по передней поверхности в зависимости от угла наклона режущей кромки λ при переднем угле $\gamma = 5^\circ$:

1 - $\lambda = 0^\circ$; 2 - $\lambda = 5^\circ$; 3 - $\lambda = 10^\circ$

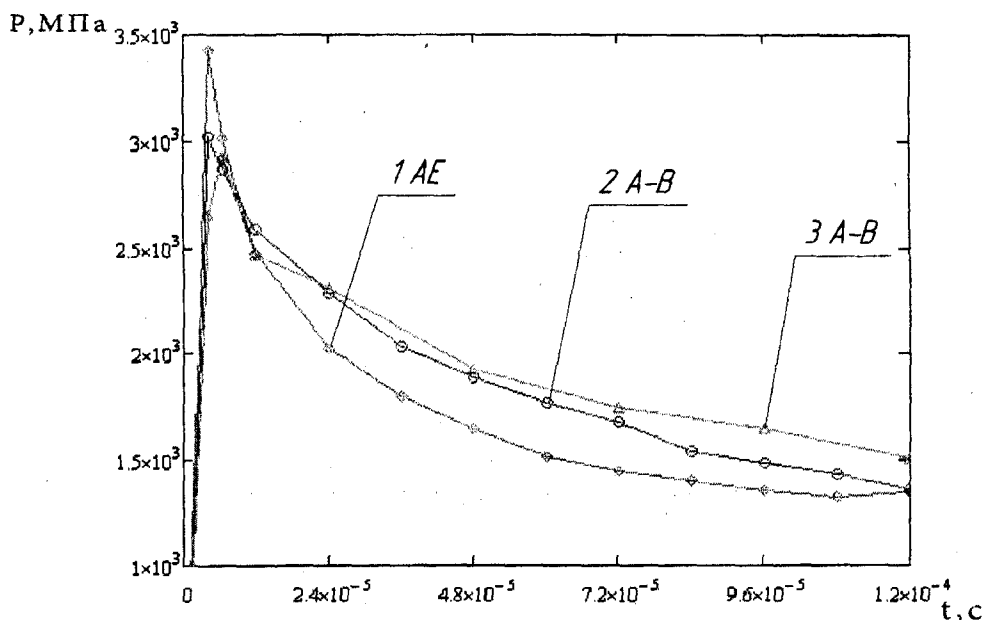


Рисунок 8 - Графики изменения среднего контактного давления по передней поверхности в зависимости от угла наклона режущей кромки λ при переднем угле $\gamma = 10^\circ$:
1 - $\lambda = 0^\circ$; 2 - $\lambda = 5^\circ$; 3 - $\lambda = 10^\circ$

Анализ результатов работы имитационной модели выявил, что при форме первоначального контакта по ABCDE, несмотря на сравнительно низкий уровень средних контактных давлений по передней поверхности инструмента, величина эффективных напряжений в режущей части инструмента при врезании выше, чем при форме контакта по точке А.

Относительно благоприятным, с точки зрения скорости нарастания силы резания (интенсивности удара), величины среднего контактного давления по передней поверхности, величины действующих напряжений, является контакт по точке А. Анализ напряженного состояния режущей части инструмента при нем показал, что максимальные по величине эффективные напряжения возникают на значительном удалении от радиусной части режущей кромки.

Наибольшие значения максимальных главных напряжений возникают в режущей части инструмента при $\gamma = 5^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ и форме первоначального контакта по АЕ. В этом случае на передней поверхности инструмента возникает область повышенных значений главных напряжений σ_1 , достигающих 900 МПа. При этом в пределах контакта инструмента с заготовкой действуют отрицательные сжимающие напряжения величиной -3000 МПа.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная конечно-элементная имитационная модель процесса врезания инструмента в заготовку позволяет устанавливать соотношение формы первоначального контакта и основных характеристик фазы врезания; в наглядном виде не только определять форму контакта инструмента с заготовкой, но и отслеживать её изменение по мере внедрения режущего клина в обрабатываемый металл.

2. При врезании инструмента в заготовку сила резания постепенно выходит на уровень, соответствующий установившемуся резанию. "Всплеска" главной составляющей силы резания проведенное моделирование не выявило.

3. Скорость нарастания силы резания зависит от формы первоначального контакта, определяемой углами γ и λ режущей части инструмента: с увеличением угла λ скорость на-

растания главной составляющей силы резания уменьшается; увеличение угла γ при фиксированном угле λ приводит к уменьшению скорости нарастания главной составляющей силы резания.

4. Среднее контактное давление по передней поверхности режущей части инструмента при его врезании в заготовку имеет место ярко выраженный максимум, который может значительно превосходить среднее давление при установившемся резании.

5. Относительно благоприятным, с точки зрения скорости нарастания силы резания (интенсивности удара), величины среднего контактного давления по передней поверхности инструмента, величины действующих напряжений, является контакт по точке А.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катунин, А.В. Исследование напряженного состояния режущей части инструмента при врезании в заготовку [Текст] / А.В. Катунин, А.А. Найденышев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. – № 6(290). – С. 72–77.

Катунин Александр Валентинович
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
Тел. (4862761903)
E-mail: katunin@ostu.ru

A.V. KATUNIN

RATIO OF INITIAL CONTACT FORM AND CHARACTERISTICS OF INCISION PHASE AT FALTERING CUTTING

The article deals with the results of modeling the process of tool cutting part incision into a blank.

Key words: *faltering cutting, incision, cutting part*

BIBLIOGRAPHY

[1] Katunin, A.V. Investigation of stress state cutting part of the tool at cutting in the workpiece / A.V. Katunin, A.A. Naydenyshev // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, 2011. – № 6 (290). – Pp. 72 – 77.

Katunin Aleksander Valentinovich.
PhD, Associate Professor
FSBEI HVT «State University –ESPC», Oryol
Phone: (4862) 76-19-03
E-mail: katunin@ostu.ru

А.А. МАЛИКОВ, А.В. СИДОРКИН, А.С. ЯМНИКОВ

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЕВЕРА-ПРИКАТНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

В статье рассмотрены особенности построения технологии изготовления сложного зубообрабатывающего комбинированного инструмента – шевера-прикатника для обработки цилиндрических колес с круговыми зубьями. Приведена методика расчета параметров наладок станков с ЧПУ на обработку круговых зубьев режуще-деформирующих инструментов – шевров-прикатников.

Ключевые слова: шевер-прикатник, маршрутная технология, станок с ЧПУ, инструмент, резцовая головка, зубофрезерование.

В ТулГУ для чистовой обработки цилиндрических колес с круговыми зубьями разработан специальный инструмент: шевер - прикатник [1-5]. Наши исследования показали высокие эксплуатационные свойства этого инструмента. Он обладает высокой производительностью, размерной стойкостью и исправляющей способностью. Конструкция комбинированного (режуще-деформирующего) инструмента – шевера-прикатника, показана на рисунке 1.

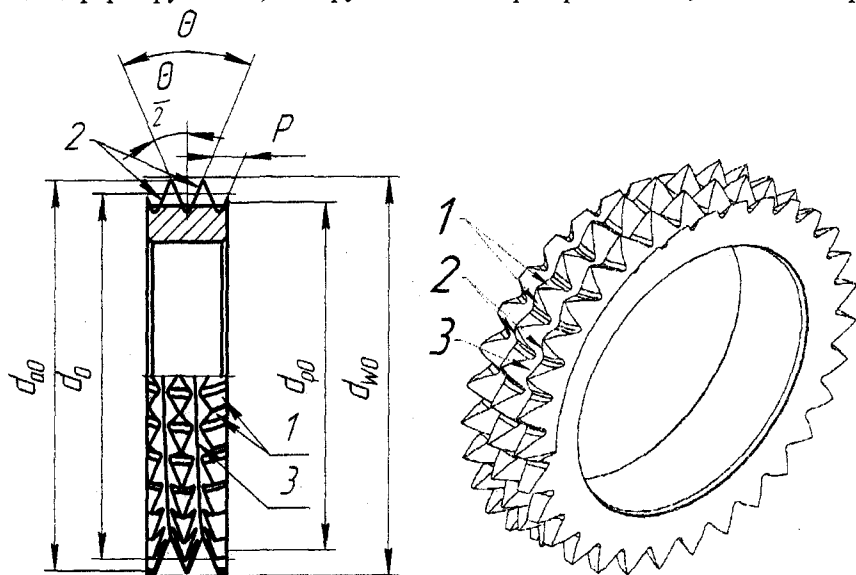


Рисунок 1 – Шевер-прикатник для чистовой обработки цилиндрических колес с круговыми зубьями

Поскольку конструктивно шевер-прикатник отличается от обычного шевера, требуется и новая технология для его изготовления. Маршрутная технология строится таким образом, чтобы обеспечить возможность его производства в условиях достаточно крупного машиностроительного предприятия, имеющего собственное инструментальное производство, либо в условиях специализированного инструментального производства. Основным критерием, позволяющим этого добиться, является использование в маршрутной технологии универсального оборудования. Однако для повышения производительности труда на токарных и шлифовальных операциях могут быть использованы станки с ЧПУ.

После подготовки баз выполняется операция прорезания винтовой канавки на наружном цилиндре шевера-прикатника с шагом P и углом θ . Эта винтовая канавка в шевере-

прикатнике служит в качестве стружечной. Затем все базовые поверхности шлифуются предварительно и заготовка передается на комплекс зуборезных операций.

Затруднения с широким применением шевера-прикатника связаны с отсутствием отработанной технологии обработки зубчатого венца с круговыми зубьями на заготовках из инструментальной стали. Наши попытки нарезать зубья по аналогии с зубьями рабочих передач зуборезными резцовыми головками успеха не имели из-за быстрого изнашивания зубьев головок на высоколегированной инструментальной стали, из которой изготавливался шевер-прикатник. Поэтому было принято решение: предварительно вырезать основную часть материала из впадины твердосплавной пальцевой фрезой на станке с ЧПУ.

Он представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо, линией зуба которого является дуга окружности. Боковые поверхности 1 зубьев инструмента являются эвольвентными в его среднем сечении, а во всех других сечениях – квазиэвольвентными. Режущие кромки 2 инструмента образованы пересечением винтовой поверхности стружечной канавки 3 трапецеидального профиля и боковых поверхностей 1 зубьев инструмента. За счет такого решения режущие кромки 3 смещены в осевом направлении друг относительно друга на величину Δ [1,2]. Для осуществления зубообработки венца инструмента был принят следующий технологический регламент:

- 1) черновое прорезание впадин инструмента углом цельной твердосплавной фрезой $d = 8$ мм с удалением до 70 % металла из впадин шевера-прикатника;
- 2) получистовая обработка зубьев инструмента двусторонней торцевой зуборезной резцовой головкой (с заууженными на величину припуска под чистовую обработку зубьями) с радиальной подачей;
- 3) получистовая обработка зубьев инструмента двусторонней торцевой зуборезной резцовой головкой (с заууженными на величину припуска под чистовую обработку зубьями) с движением обката;
- 4) раздельная чистовая обработка выпуклой и вогнутой сторон зубьев инструмента односторонними торцевыми зуборезными резцовыми головками с движением обката.

Для первого перехода рассматриваемой операции расчет сводится к установлению такой глубины врезания фрезы, которая не повлекла бы подрезание боковых поверхностей зубьев и в то же время оставляла бы достаточный припуск для последующей обработки (в самых узких местах).

Задача определения координат опорных точек для построения управляющей программы (УП) цикла черновой обработки впадин венца инструмента может быть решена с высокой степенью точности при помощи пакета прикладных программ «Компас» фирмы «Аско-кон» и входящего в данный пакет приложения «Компас Shaft-2D».

Для обработки узкозубчатых инструментов ($b \leq 10m$), имеющих небольшую кривизну арки зуба, можно использовать движение по прямой; для других случаев дугу окружности можно аппроксимировать двумя (или более) отрезками либо вести обработку непосредственно по дуге окружности.

Для составления УП необходимы данные о начальной и конечной точках движения инструмента, угловом положении обрабатываемой заготовки и характере движения. Методика нахождения координат искомых точек пояснена на рисунке 2.

Система координат принята аналогичной системе координат станка ОЦ1И22. С помощью приложения «Компас Shaft-2D» производится построение эвольвентных профилей двух соседних зубьев инструмента в его торцовом сечении, так чтобы ось симметрии впадины между ними совпадала с осью OZ .

Для расчета координат опорных точек траектории движения инструмента при черновой обработке впадины зубчатого венца становится возможным следующее упрощение – замена эвольвент дугами окружностей 1 и 2 (для выпуклой и вогнутой сторон зуба соответственно).

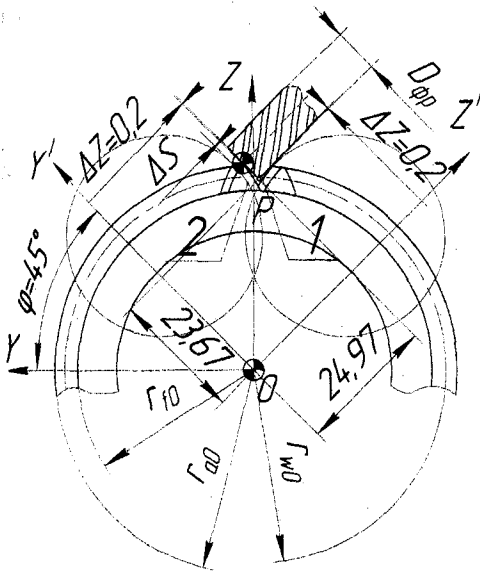


Рисунок 2 – Схема к определению координат Y' и Z' опорных точек для черного прорезания впадин шевера-прикатника

Для фактического воплощения операции поворота координатных осей на угол φ необходимо осуществить доворот заготовки по угловой координате A (отсчитываемой относительно оси поворотного устройства станка) на угол φ с последующим доворотом в обратном направлении, осуществляемом по завершении цикла обработки.

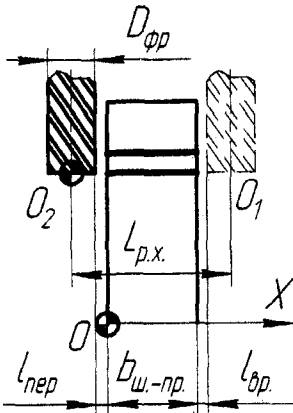


Рисунок 3 – Схема к определению координат опорных точек для черного прорезания впадин инструмента

Обозначим касательные к данным окружностям под углом 45° к оси OZ . Проведем прямые, параллельные касательным и смещенные относительно них на величину ΔZ (минимального припуска, необходимого для последующей обработки) – для выпуклой стороны зуба, и величину $\Delta Z + \Delta S$ (где ΔS – показатель кривизны арки зуба).

Точка P пересечения данных прямых будет определять положение кромок фрезы. Введя дополнительную систему координат, оси которой OZ' и OY' повернуты относительно осей OZ и OY основной системы координат на угол $\varphi = 45^\circ$, можно найти в ней координаты точки P (23,67; 24,97).

Для расчетной точки O_1 на инструменте координаты определяются по формулам

$$Y'_{O_1} = Y'_P + 0,5D_{фр}, \quad (1)$$

$$Z'_{O_1} = Z'_P. \quad (2)$$

Для фрезы диаметром 8 мм, искомыми координатами являются O_1 (27,67; 24,97).

Координата X опорных точек траектории движения инструмента может быть найдена из схемы, приведенной на рисунке 3. Координаты по оси OX точек начала O_1 и конца O_2 рабочего хода инструмента определяются по формулам

$$X_{O_1} = b_{ш-пр} + l_{вр} + 0,5D_{фр}; \quad (3)$$

$$X_{O_2} = -l_{пер} - 0,5D_{фр}. \quad (4)$$

где $l_{вр}$ и $l_{пер}$ – длина пути врезания и перебега инструмента;

$b_{ш-пр}$ – ширина шевера-прикатника.

Тогда путь, пройденный инструментом

$$L_{р.х.} = l_{вр} + b_{ш-пр} + l_{пер} + D_{фр}. \quad (5)$$

Делительное движение является вспомогательным и осуществляется на угол

$$\Delta A = 2\pi/Z, \quad (6)$$

где Z – число зубьев обрабатываемого шевера-прикатника.

При получистовой обработке зубьев инструмента двусторонней торцевой зуборезной резцовой головкой с радиальной подачей движения аналогичны представленным выше (при замене осевой подачи на радиальную), поэтому здесь не рассматриваются.

Для получистовой обработки зубьев инструмента двусторонней торцевой зуборезной резцовой головкой с движением обката необходимо произвести доворот заготовки на угол φ_{01} . Значение данного угла определяется из рисунков 4 – 6. Для осуществления движения обката необходимы два согласованных между собой движения: поворот заготовки (координата

А) относительно оси поворотного устройства станка на угол $\varphi_{обк}$ с частотой вращения D_{Sw} и поперечная подача D_{SV} стола станка (координата Y) на длину $L_{обк}$ (рисунок 4).

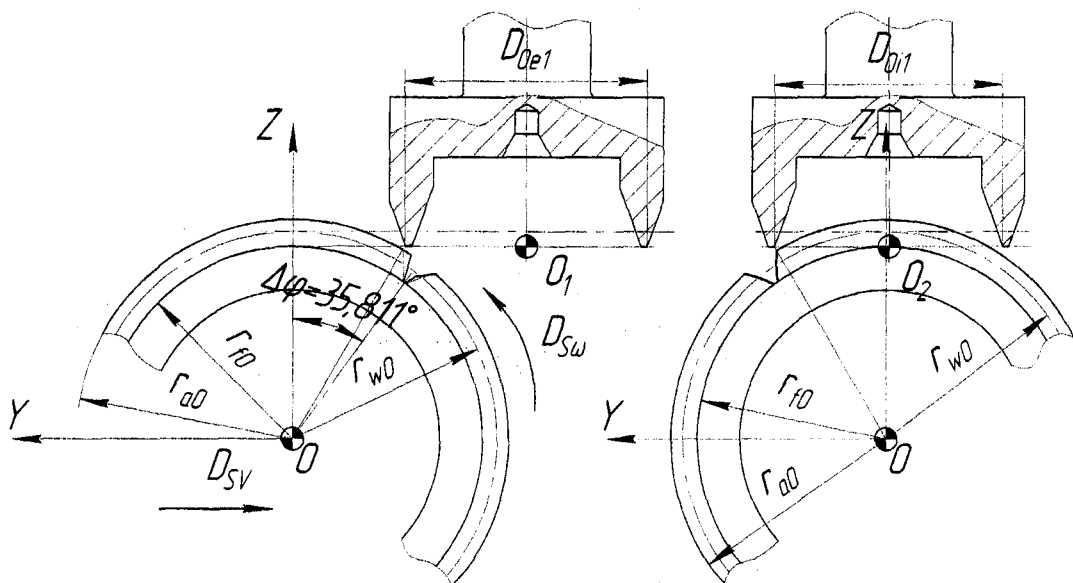


Рисунок 4 – Движение обката при получистовой обработке впадины инструмента двусторонней зуборезной резцовой головкой

Для нахождения длины пути обката проведем дополнительные построения (рисунки 5, 6).

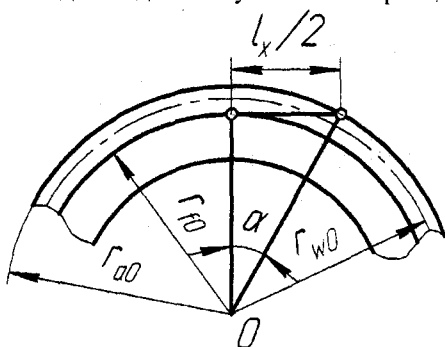


Рисунок 5 – Определение составляющей длины пути обката

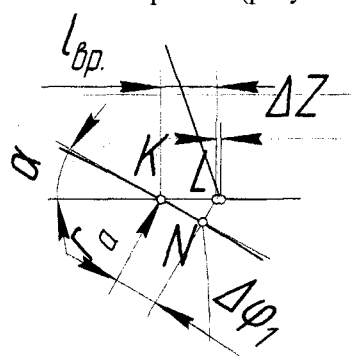


Рисунок 6 – Определение угла доворота $\Delta\varphi_1$

Длина пути обката рассчитывается по формуле

$$L_{обк} = l_x + l_{вр} + l_{пер} + 2\Delta Z + \frac{D_{0e1} - D_{0i1}}{2}; \quad (7)$$

где $l_x/2$ – длина полу хорды окружности вершин зубьев, касательная к окружности впадин зубьев:

$$l_x/2 = r_a \cdot \sin \alpha;$$

где

$$\alpha = \arccos \frac{r_f}{r_a};$$

$l_{вр.}$ – длина пути врезания инструмента (рисунок 5), определяемая исходя из расстояния LN , измеренного в направлении, перпендикулярном окружности вершин зубьев (принимается равным 1 мм).

Тогда $l_{вр.}$ можно найти по формуле

$$l_{вр.} = \frac{LN}{\sin \alpha},$$

где $l_{пер.}$ – длина пути перебега инструмента, в общем случае принимается $l_{пер.} = l_{вр.}$;

ΔZ – расстояние, учитывающее заужение зубьев полусторонней головки, а также припуск, оставленный под чистовую обработку зубьев;

D_{0e1} и D_{0i1} – наружный и внутренний диаметры вершин зубьев двусторонней торцевой зуборезной резцовой головкой.

Для составления управляющей программы необходимо также знать координаты расчетной точки инструмента в начале движения обката. Для линейной координаты Y вычисляется по формуле

$$Y_{o1} = 0,5l_x + l_{вр.} + \Delta Z + \frac{D_{0e1}}{2} \quad (8)$$

Для угловой координаты

$$\varphi_{o1} = \Delta\varphi + \Delta\varphi_1, \quad (9)$$

где $\Delta\varphi$ – начальный угол доворота, определяемый из рисунка 6;

$\Delta\varphi_1$ – дополнительный угол доворота (рисунок 6), соответствующий длине врезания $l_{вр.}$ входящей в длину пути обката $l_{обк.}$:

$$\Delta\varphi_1 = \arctg \frac{LN}{r_a \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (10)$$

Угол поворота заготовки во время движения обката $\varphi_{обк.}$ рассчитывается по формуле

$$\varphi_{обк.} = \frac{L_{обк.}}{r_0 + \chi_0 m}. \quad (11)$$

Синхронизация линейного и кругового движений в процессе обката осуществляется автоматически системой ЧПУ станка и позволяет устанавливать величину рабочей подачи движения обката по одной из координат (предпочтительно по линейной – Y).

Координата Z точек O_1 и O_2 инструмента, как видно из рисунка 4, будет равна величине r_{fp} .

Величина перемещения точек, расположенных на различных уровнях режущих кромок зубьев зуборезной резцовой головкой будет одинаковой.

Для расчета параметров наладки станка на чистовую обработку выпуклых сторон зубьев инструмента односторонней торцевой зуборезной резцовой головкой справедливы формулы приведенные выше. Однако формулы (7) и (8) должны быть скорректированы для работы одностороннего инструмента с зауженным зубом без оставления последующего припуска. Тогда в соответствии с рисунком 7:

$$Y_{o1} = 0,5l_x + l_{вр.} + 0,5\pi m - 2,25m \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,5D_{0i2} \quad (12)$$

$$L_{обк.} = l_x + l_{вр.} + l_{пер.} + 0,5\pi m - 2,25m \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (13)$$

Для расчета параметров наладки станка на чистовую обработку вогнутых сторон зубьев инструмента односторонней торцевой зуборезной резцовой головкой также справедливы формулы, приведенные выше. Однако формулы (5) и (6) также должны быть скорректированы.

В соответствии с рисунком 8 получим:

$$Y_{o1} = 0,5l_x + l_{вр.} + 0,5D_{0e3}, \quad (11)$$

$$L_{обк.} = 0,5l_x + l_{вр.} + l_{пер.} + \frac{D_{0e3} - D_{0i3}}{2}. \quad (12)$$

где $l_{пер.}$ – длина пути перебега инструмента, в данном случае принимается $l_{пер.} = 5 \dots 7$ мм.

Величина $l_{\text{пер}}$ определяется исходя из того, что инструмент работает только при обработке вогнутой стороны зубьев шевера-прикатника, следовательно, на второй половине пути обката инструмент не совершает резания и работает вхолостую. Для обеспечения гарантии обработки вогнутой стороны зубьев шевера-прикатника по всей их высоте величина $l_{\text{пер}}$ принимается достаточно большой.

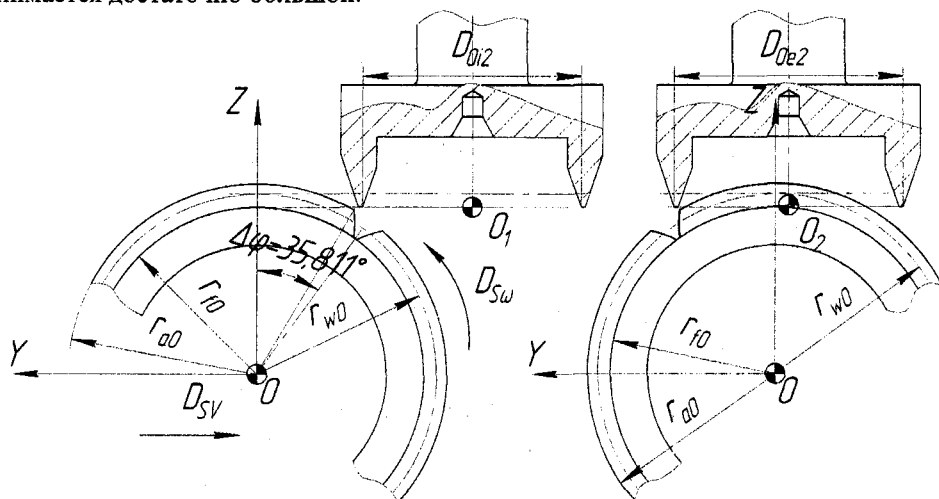


Рисунок 7 – Движение обката при чистовой обработке выпуклой стороны зуба инструмента односторонней зуборезной резцовой головкой

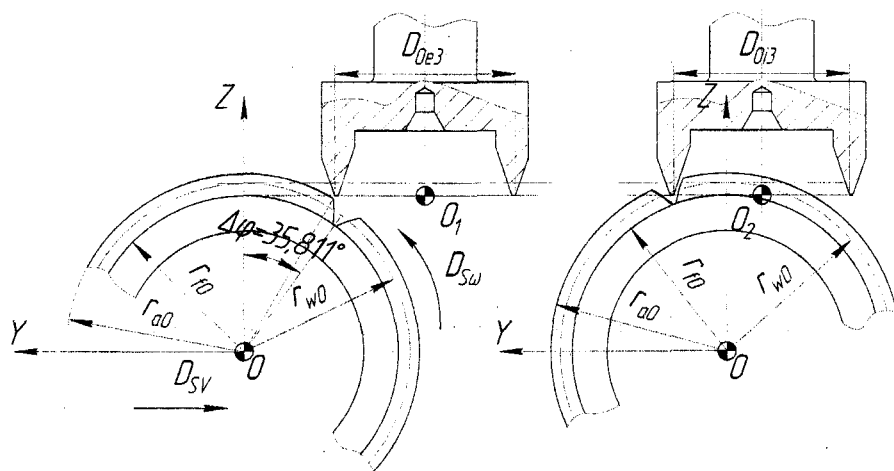


Рисунок 8 – Движение обката при чистовой обработке вогнутой стороны зуба инструмента односторонней зуборезной резцовой головкой

После нарезания зубьев заготовка подвергается термообработке до твердости HRC 60...65, и производится чистовое шлифование базовых поверхностей, винтовой струженной канавки и рабочих поверхностей зубьев.

Таким образом, рассмотренные здесь маршрутная технология изготовления шевера-прикатника и операционная технология нарезания его круговых зубьев, сочетающая в себе два способа получения круговых зубьев, позволили изготовить инструмент с заявленными показателями точности и качества.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии» - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструмент для чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес [Текст] / А.А. Маликов, Е.Н. Валиков, А.С. Ямников, А.В. Сидоркин / Патент РФ на полезную модель №75978 от 10.09.08.
2. Способ обработки цилиндрических зубчатых колес шевингованием-прикатыванием [Текст] / А.А. Маликов, Е.Н. Валиков, А.В. Сидоркин / Патент № 2369469 РФ, МПК В 23 F 9/02. Оpubл. бюл. №28 от 10.10.09 - 4 с.
3. Ямников, А.С. Шевингование-прикатывание цилиндрических колес с круговыми зубьями [Текст] / А.С. Ямников, А.А. Маликов, А.В. Сидоркин // Машиностроение и инженерное образование, 2011. - № 3. - С. 8-12.
4. Ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес [Текст] / А.С. Ямников, А.А. Маликов, Е.Н. Валиков, А.В. Сидоркин // Технология машиностроения. - 2008. - №7. - С. 7-10.
5. Маликов, А.А. Инновационные технологии обработки зубьев цилиндрических колес [Текст]: монография / А.А. Маликов, А.В. Сидоркин, А.С. Ямников. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. - 335 с.

Маликов Андрей Андреевич
Тульский государственный университет, г. Тула
Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Технологии машиностроения»
E-mail: andrej-malikov@yandex.ru

Сидоркин Андрей Викторович
Тульский государственный университет, г. Тула
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: alan-a@mail.ru

Ямников Александр Сергеевич
Тульский государственный университет, г. Тула
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: yamnikovas@mail.ru

A.A. MALIKOV, A.V. SIDORKIN, A.S. YAMNIKOV

COMPLEX MANUFACTURING TECHNIQUES SHEAVE-ROLLING FOR HANDLING OF CYLINDRICAL SPROCKETS WITH CIRCULAR TEETHS

In a article features of construction of manufacturing techniques difficult processing teeths the combined instrument - sheave-rolling for handling of cylindrical sprockets with circular teeths are considered. The design procedure of parametres of adjustments of machine tools with CNC on handling of circular teeths of rezhushche-deforming instruments - sheave-rolling is reduced.

Keywords: *sheave-rolling, routeing technique, the machine tool with CNC, the instrument, резцовая а head, a hobbing.*

BIBLIOGRAPHY

- [1] The instrument for a finish machining of cylindrical h-pole serrated sprockets [Text] / A.A. Malikov, E.N. Valikov, A.A. Yamnikov, A.V. Sidorkin / The patent of the Russian federation for a useful sample piece №75978 from 10.09.08.
- [2] A mode of handling of cylindrical tooth gears a sheave-rolling [Text] / A.A. Malikov, E.N. Valikov, A.V. Sidorkin / The patent № 2369469 Russian federations, MPK in 23 f 9/02. Published in the bulletin №28 from 10.10.09 - 4 p.
- [3] Yamnikov, A.S. A shave-rolling together of cylindrical sprockets with circular teeths [Text] / A.S. Yamnikov, A.A. Malikov, A.V. Sidorkin // Mechanical engineering and engineering education, 2011. - № 3. - Pp. 8-12.
- [4] Resursosberegajushchie manufacturing techniques of cylindrical h-pole serrated sprockets [Text] / A.S. Yamnikov, A.A. Malikov, E.N. Valikov, A.V. Sidorkin // Technique mashinostroenija. - 2008. - №7. - Pp. 7-10.
- [5] Malikov, A.A. Innovative techniques of handling of teeths of cylindrical sprockets [Text] : the monograph / A.A. Malikov, A.V. Sidorkin, A.S. Yamnikov. - Tula: publishing house TSU, 2011. - 335 p.

Malikov Andrey Andreevich
The tula state university, Tula
Dr.sci.tech., the manager. Chair of technique of machine industry
Tel.: (84872) 33-23-10
E-mail: andrej-malikov@yandex.ru

Sidorkin Andrey Viktorovich
The tula state university, Tula
Cand.tech.sci., the senior lecturer of chair «Technique of machine industry»
Tel.: (84872) 33-23-10
E-mail: alan-a@mail.ru

Yamnikov Alexander Sergeevich
Tula state university, Tula
Doctor of technical science, professor of of chair «Technique of machine industry»
Tel.: (84872) 33-23-10
E-mail: Yamnikovas@mail.ru

Л.А. РЫБАК, А.В. ЧИЧВАРИН, Ю.А. МАМАЕВ, Е.В. ГАПОНЕНКО

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОДНО- И ДВУХСЕКЦИОННОГО МАНИПУЛЯТОРОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

В данной статье рассматривается синтез системы управления одно- и двухсекционного манипуляторов с параллельной кинематикой на основе принципа сверхустойчивости. Приведены данные математического моделирования работы систем управления. Выявлено, что синтез систем управления на основе сверхустойчивости позволяет построить эффективное управление и избежать появления избыточных обратных связей, делающих систему в определённых случаях неустойчивой.

Ключевые слова: манипуляторы с параллельной структурой; гексапод; сверхустойчивость; синтез системы управления; математическая модель

В связи с усилением требований к качеству обработки рабочих поверхностей в настоящее время все большее применение в машиностроении находят механизмы с параллельной кинематикой, позволяющие выполнять окончательную механическую обработку ответственных деталей сложной конфигурации [1]. Оборудование с параллельной кинематикой основывается на применении многоподвижных и многопоточных стержневых механизмов, что позволяет одним и тем же механизмам выполнять транспортные операции захвата заготовки, установки детали и технологические операции обработки, а встроенные высокомоментные приводы и быстродействующая вычислительная техника позволяют не только управлять технологическими перемещениями механизма, но и компенсировать его недостатки. К механизмам с параллельной структурой относятся триподы, тетраподы, гексаподы и др. Наиболее распространенными механизмами с параллельной структурой являются гексаподы (рисунок 1). Отличительной особенностью таких механизмов является способность воспринимать и передавать нагрузки подобно пространственным фермам и обеспечивать шесть степеней свободы выходному звену 1 (платформе) в сочетании с его высокоточным позиционированием относительно основания 2. Платформа и основание связаны между собой замкнутой кинематической цепью, каждое из соединительных звеньев 3 (штанг) которой содержит линейный приводной механизм и две сферические кинематические пары с ограничением от вращения звена относительно его продольной оси.

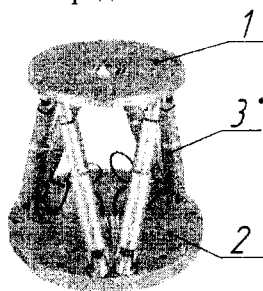


Рисунок 1 – Механизм с параллельной структурой (гексапод)

Проведем синтез системы управления приводными механизмами на основе свойства сверхустойчивости матрицы коэффициентов A_{Δ} системы, построенной в координатах состояния, который был предложен в [2, 3] и в дальнейшем развит в понятие обобщенной сверхустойчивости в [4].

Понятие сверхустойчивости введено в связи с тем, что обычное понятие устойчивости использовать не очень удобно при разработке требуемой системы управления. Во-первых,

устойчивость — асимптотическое свойство, в начальные моменты времени может наблюдаться эффект «всплеска» — резкого роста отклонений. Во-вторых, синтез регулятора заданной структуры связан с серьезными трудностями — устойчивость линейной стационарной системы может легко теряться при наличии нестационарных и нелинейных возмущений. Один из возможных путей преодоления этих трудностей связан с переходом к иному, более узкому классу систем, именуемых сверхустойчивыми. Такие системы обладают удобными свойствами выпуклости, проблема стабилизации также становится выпуклой в пространстве коэффициентов регулятора и допускает простое решение методами линейного программирования. Эти свойства приобретаются потому, что сверхустойчивость формулируется в виде линейных условий на элементы матрицы, а не в терминах собственных значений.

Рассмотрим задачу синтеза сверхустойчивого управления для манипулятора с электромеханическим исполнительным механизмом. Для этого рассмотрим всю систему, включая исполнительный механизм, в пространстве состояний. Для выполнения условия отрицательности коэффициентов на главной диагонали матрицы A_Δ необходимо ввести еще одно уравнение состояния. В результате получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} -\ddot{x} = \frac{2J_{эд}\omega_0}{J_{эд} + mr_1r_2}\dot{x} - \frac{J_{эд}\omega_0}{J_{эд} + mr_1r_2}\dot{y} - \frac{k_{эм}^2r_1}{J_{эд} + mr_1r_2}I_\pi, \\ \dot{y} = -\omega_0\dot{x}, \\ \dot{I}_\pi = -\frac{R}{L}I_\pi - \frac{k_{эм}}{r_1L}\dot{x} + \frac{k_{эм}}{r_1L}\dot{y} + \frac{1}{L}u, \end{cases} \quad (1)$$

где y — абсолютное перемещение основания ($\dot{y}$ — скорость, $\ddot{y}$ — ускорение), x — абсолютное перемещение объекта ($\dot{x}$ — скорость, $\ddot{x}$ — ускорение), ω_0 — угловая скорость электродвигателя в режиме холостого хода.

Введём переменные состояния: $x_1 = \dot{x}$, $x_2 = \dot{y}$, $x_3 = I_\pi$. Тогда система уравнений (1) примет вид $\dot{X} = AX + Bu$, где $X = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T$ — вектор переменных состояния; матрицы коэффициентов.

$$A \text{ и } B \text{ имеют вид: } A = \begin{bmatrix} -\frac{2J_{эд}\omega_0}{J_{эд} + mr_1r_2} & \frac{J_{эд}\omega_0}{J_{эд} + mr_1r_2} & \frac{k_{эм}^2r_1}{J_{эд} + mr_1r_2} \\ 0 & -\omega_0 & 0 \\ \frac{k_{эм}}{Lr_1} & \frac{k_{эм}}{Lr_1} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix}.$$

Система уравнений (1) полностью описывает поведение системы с электромеханическим исполнительным механизмом под влиянием возмущающих и управляющих воздействий. Каждой конкретной модели электродвигателя соответствуют свои матрицы коэффициентов систем A и B .

На рисунке 2 изображена структурная схема манипулятора со сверхустойчивым регулятором. Графики ускорения на объекте и относительного перемещения объекта для частоты возмущающего воздействия $f = 1$ Гц приведены на рисунке 3, где 1 — ускорение на основании; 2 — ускорение на объекте; 3 — относительное перемещение объекта.

Рассмотрим расчетную схему пространственного односекционного манипулятора параллельной кинематики рисунок 4. Диски I (платформа) и II (основание) соединяются между собой шестью абсолютно жесткими стержнями 1–6, с шаровыми шарнирами на концах. Каждый стержень выполнен в виде электромеханического приводного механизма. При нагружении одного из дисков внешней силой и жестком закреплении второго диска в стержнях возникают силы реакции, которые в общем случае образуют силовой винт.

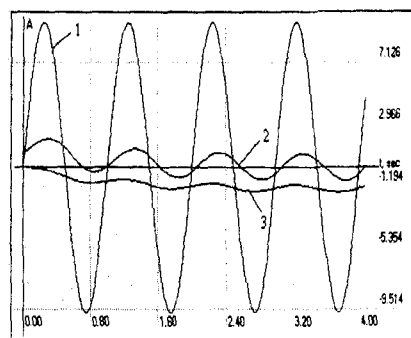
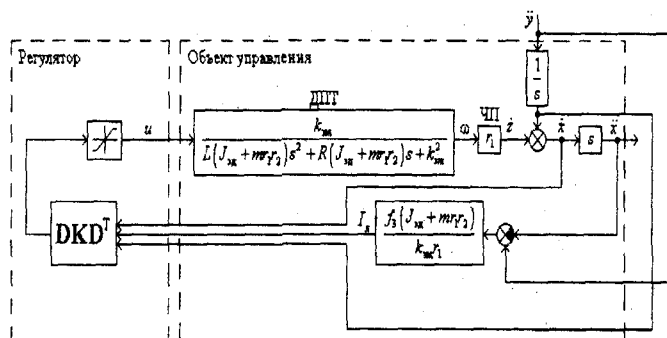


Рисунок 2 - Структурная схема манипулятора с электромеханическим исполнительным механизмом
ДППТ — двиг. постоянного тока, ЧП — червячная передача

Рисунок 3 - Моделирование работы манипулятора при частоте управляющего воздействия $f = 1$ Гц

Взаимодействие твердого тела и основания по направлениям осей стержней определяется п्लюккеровыми координатами этих осей [5]. Пусть α_i , β_i и γ_i — углы, которые единичный вектор оси стержня $\bar{e}_i$ образует с осями некоторой прямоугольной системы координат XYZ, расположенной на твердом теле (рисунок 4). Моменты единичного вектора $\bar{e}_i$ относительно этих осей равны $l_i = \eta_i \cos \gamma_i - \zeta_i \cos \beta_i$, $m_i = \zeta_i \cos \alpha_i - \xi_i \cos \gamma_i$, $n_i = \xi_i \cos \beta_i - \eta_i \cos \alpha_i$, где ξ_i , η_i , ζ_i — координаты точки крепления стержня к твердому телу (центры сферических шарниров). Перемещение твердого тела (объекта) в пространстве связано с перемещениями вдоль шести стержней платформы матрицей п्लюккеровых координат A_Γ

$$A_\Gamma = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \dots & \cos \alpha_6 \\ \cos \beta_1 & \dots & \cos \beta_6 \\ \cos \gamma_1 & \dots & \cos \gamma_6 \\ l_1 & \dots & l_6 \\ m_1 & \dots & m_6 \\ n_1 & \dots & n_6 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Малое перемещение твердого тела I относительно основания II зададим матрицей-столбцом перемещений $X = [x, y, z, \varphi, \psi, \chi]^T$, где x, y, z — поступательные перемещения вдоль осей X, Y, Z; φ, ψ, χ — углы поворотов относительно этих осей. Аналогично определим матрицу-столбец скоростей $\dot{X} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\varphi}, \dot{\psi}, \dot{\chi}]^T$. В рамках теории малых возможных перемещений можно записать $\Delta = A_\Gamma X$, $\dot{\Delta} = A_\Gamma \dot{X}$, $\Delta = [\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6]^T$, $\dot{\Delta} = [\dot{\delta}_1, \dot{\delta}_2, \dot{\delta}_3, \dot{\delta}_4, \dot{\delta}_5, \dot{\delta}_6]^T$ где Δ , $\dot{\Delta}$ — матрицы-столбцы относительных перемещений и скоростей по направлениям осей стержней. Если к твердому телу приложены силы и моменты, характеризуемые матрицей-столбцом $F = [F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z]^T$, где F_x, F_y, F_z — силы, ориентированные по осям X, Y, Z; M_x, M_y, M_z — моменты относительно этих осей, то $F = A_\Gamma R$, где $R = [R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6]^T$ — силы реакции стержней на действие сил F . Решая уравнения относительно Δ , $\dot{\Delta}$ и R , получим

$$X = (A_\Gamma)^{-1} \Delta, \quad \dot{X} = (A_\Gamma)^{-1} \dot{\Delta}, \quad R = (A_\Gamma)^{-1} F. \quad (3)$$

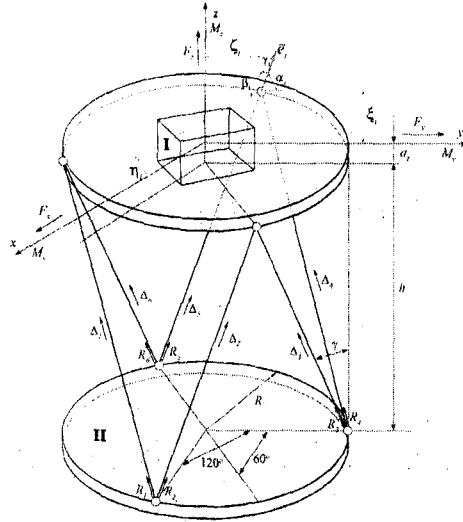


Рисунок 4 - Расчетная схема пространственного манипулятора

Из (3) следует, что если определитель матрицы A_Γ равен нулю (матрица A_Γ вырожденная), то обратной матрицы не существует, и нет однозначной связи между перемещениями точек крепления стержней и перемещением твердого тела в системе координат XYZ . Перемещения X неограничены. То же самое можно сказать о силах и моментах, приложенных к твердому телу, и реакциях стержней. Силы F , действующие на твердое тело, вызывают бесконечно большие реакции. Таким образом, вырожденность матрицы A_Γ указывает на мгновенную подвижность и статическую неустойчивость.

Для реакций стержней для тела массой m и радиусами инерции r_x, r_y, r_z по аналогии с выражением $m\ddot{x} = R_1$ можно записать

$$M\ddot{X} = A_\Gamma R, \quad (4)$$

где M — диагональная матрица коэффициентов, учитывающая массы и радиусы инерции. Из выражения (4) следует:

$$[\ddot{x} \ \ddot{y} \ \ddot{z} \ \ddot{\varphi} \ \ddot{\psi} \ \ddot{\chi}]^T = M^{-1} A_\Gamma [R_1 \ R_2 \ R_3 \ R_4 \ R_5 \ R_6]^T.$$

С учетом того, что рассматривается 6 приводных механизмов, каждый из которых имеет 4 координаты состояния, строим систему 18 уравнений состояния

$$\dot{X} = AX + Bu, \quad (5)$$

где $X = [-\dot{x}_1 \ \dots \ -\dot{x}_6 \ \dot{y}_1 \ \dots \ \dot{y}_6 \ -I_{x1} \ \dots \ -I_{x6}]^T$ — вектор состояния; A и B — матрицы коэффициентов системы, которые имеют блочный вид

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{2J_{3d}\omega_0}{J_{3d} + mr_2} I & \frac{J_{3d}\omega_0}{J_{3d} + mr_2} I & \frac{k_{3m}^2 r_1}{J_{3d} + mr_2} I \\ 0 & -\omega_0 I & 0 \\ \frac{k_{3m}}{Lr_1} I & \frac{k_{3m}}{Lr_1} I & -\frac{R}{L} I \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} I \end{bmatrix}.$$

Матрицы A_Δ и B_Δ имеют размерность 18×18 и 18×6 соответственно. Значения матрицы коэффициентов обратных связей регулятора $K = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{181} \\ \dots & \dots & \dots \\ k_{16} & \dots & k_{186} \end{bmatrix}$ и вспомогательной диа-

гональной матрицы $D = \text{diag}[d_1 \dots d_{18}]$ находим в соответствии с приведенным выше алгоритмом.

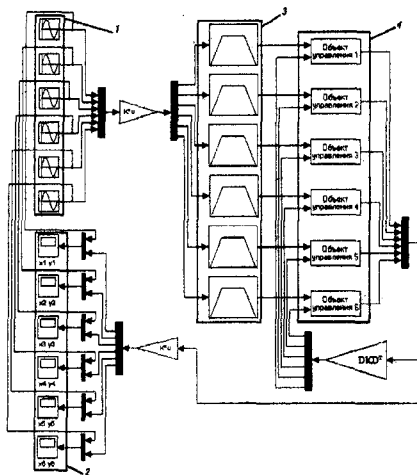


Рисунок 5 - Структурная схема манипулятора

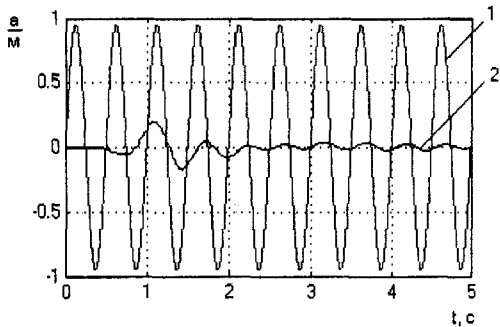


Рисунок 6 - Реакция исследуемого манипулятора на гармонический сигнал частотой 2 Гц

Далее, в среде MATLAB строим модель манипулятора (рисунок 5), где 1 — источники входных возмущений, 2 — осциллографы, предназначенные для отображения входных возмущений и выходных сигналов, 3 — система фильтров, отсекающих высокочастотные шумы, 4 — контур управления, включающий в себя шесть приводных механизмов

На рисунке 6 показана реакция манипулятора (кривая 2) на гармоническое воздействие в вертикальном направлении (вдоль оси z) частотой 2 Гц.

Рассмотрим схему двухсекционного манипулятора параллельной кинематики (рисунок 7). Обе секции двухсекционного манипулятора являются, по сути, рассмотренными выше односекционными манипуляторами. Вторая секция манипулятора представляет собой в два раза уменьшенную первую секцию. Основание соединено с платформой 1 шестью абсолютно жесткими стержнями с шаровыми шарнирами на концах, а платформа 1, в свою очередь, соединена шестью стержнями такого же типа с платформой 2. Каждый стержень, так же как и в односекционном манипуляторе, выполнен в виде электромеханического приводного механизма.

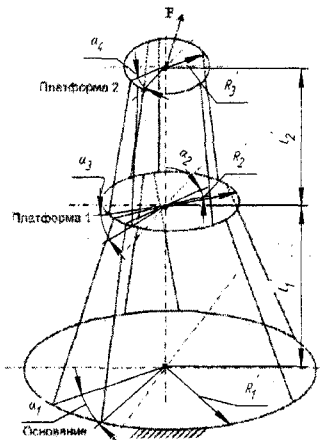


Рисунок 7 - Модель двухсекционного манипулятора параллельной кинематики

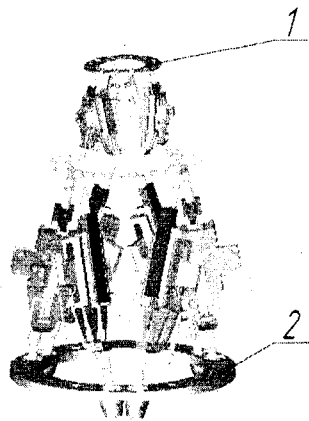


Рисунок 8 - 3D-модель двухсекционного манипулятора в программном комплексе Solidworks

Введем дополнительно следующие обозначения: R_1 - радиус основания; R_2 , R_3 - радиусы первой и второй платформы соответственно; L_1 - расстояние между основанием и первой платформой (высота первой секции); L_2 - расстояние между первой и второй платформами (высота второй секции); α_1 , α_2 - углы между шарнирами, расположенными на нижней стороне первой платформы и верхней стороне основания соответственно; α_3 , α_4 - углы между шарнирами, расположенными на верхней стороне первой платформы и нижней стороне второй платформы соответственно.

Для синтеза и математического моделирования двухсекционного манипулятора параллельной кинематики построена 3D-модель данного манипулятора в программном комплексе Solidworks (рисунок 8). На рисунке: 1- вторая (верхняя) платформа, 2 – основание манипулятора. Возможности данного программного комплекса позволяют импортировать, с помощью SimMechanics CAD translator, построенную 3D-модель манипулятора в программу MathLab.

В свою очередь в программе MathLab выполнено математическое моделирование двухсекционного манипулятора. Рассматриваемый манипулятор представлен на схеме (рисунок 9) в виде двух платформ 3: верхней (Upper platform) и нижней (Lower platform). С каждой платформы снимаются данные о положении (position) и скорости (velocity) изменения длин штанг.

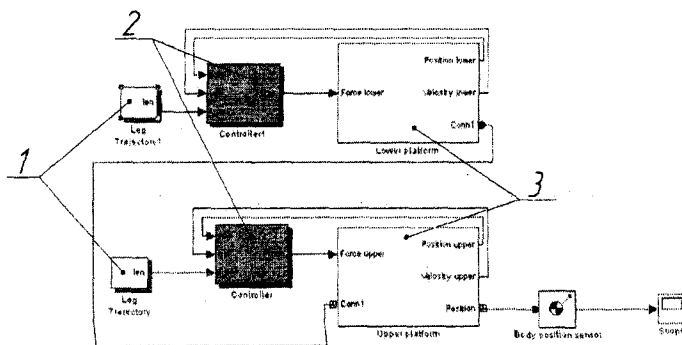


Рисунок 9 - Схема двухсекционного манипулятора параллельной кинематики в среде MathLab

Блоки 1 отвечают за пересчет задания, получаемого в виде координат и углов верхней платформы, в изменения длин штанг платформы. Схема процесса представлена на рисунке 10. При этом углы поворота платформы пересчитываются в перемещения с помощью формул Эйлера. Блоки 2 в данном случае являются регуляторами.

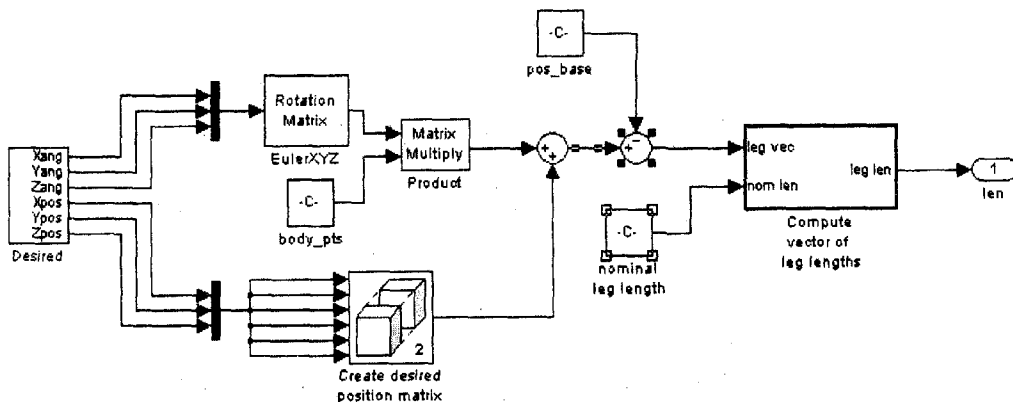


Рисунок 10 - Схема пересчета траектории движения штанг платформы двухсекционного манипулятора

Полученные с помощью формул Эйлера перемещения затем складываются с матрицей перемещений 1, а полученные линейные перемещения центра масс платформы преобразуются в изменения длин штанг в блоке 2 (рисунок 11).

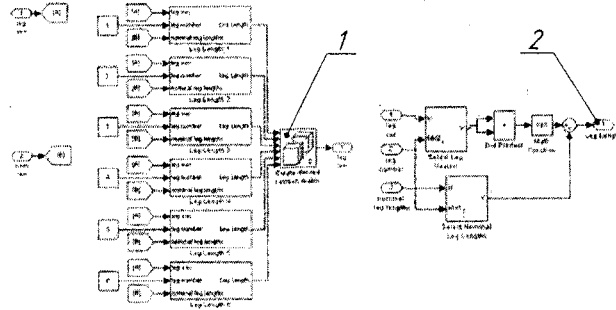


Рисунок 11 - Схема преобразования линейных перемещений в изменения длин штанг в блоке

Каждая опора двухсекционного манипулятора параллельной кинематики в программе MathLab представляется моделью (рисунок 12). Блоки ActuatorAssm 1-1... ActuatorAssm 6-1 поз.1 представляют собой модель каждой штанги платформы.

При моделировании полученное требуемое значение длины штанги сравнивается с текущим и подается на систему управления, вырабатывающую значение силы, подаваемой на приводы штанг.

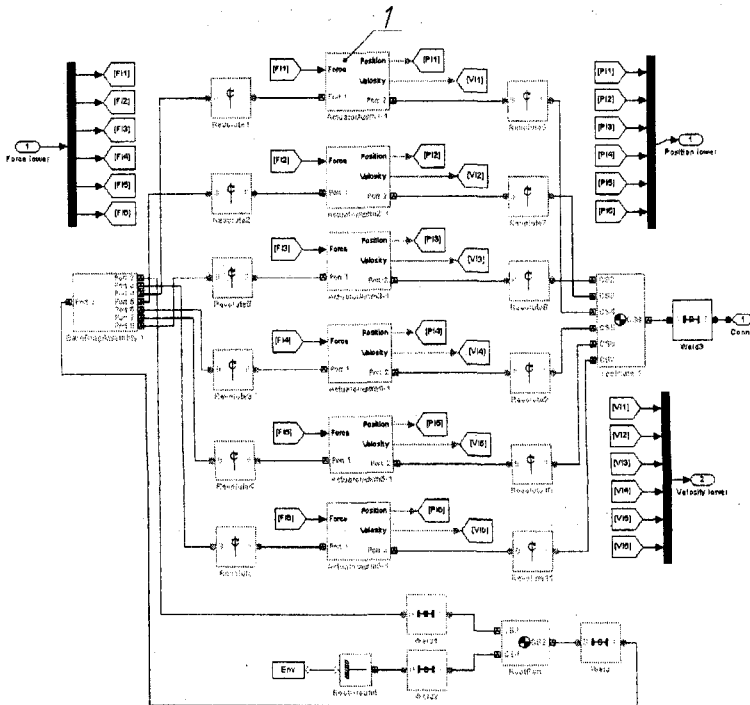


Рисунок 12 - Схема моделирования опор двухсекционного манипулятора с параллельной кинематикой

В результате моделирования двухсекционного манипулятора с параллельной кинематикой могут быть получены различные зависимости. В данной статье приведем некоторые из них. На рисунке 13 показаны графики изменения положения координат центра платформы от времени. Цифрами 1, 2, 3 обозначены кривые изменения положения центра платформы по координатам x, y, z соответственно. На рисунке 14 показаны ошибки позиционирования

штанг двухсекционного манипулятора. Кривыми 1-6 обозначены ошибки позиционирования каждой из штанг манипулятора в определенный промежуток времени.

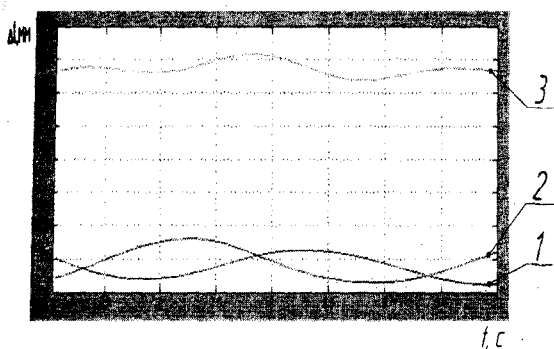


Рисунок 13 – Графики изменения положения координат центра платформы

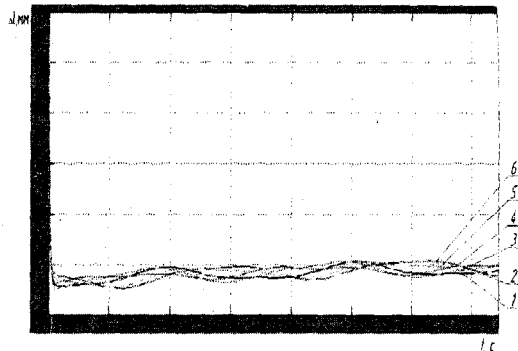


Рисунок 14 – Ошибки позиционирования штанг двухсекционного манипулятора

На основании данных зависимостей можно сделать вывод о том, что при синтезе двухкаскадного манипулятора с параллельной кинематикой на основе сверхустойчивости возникают минимальные ошибки позиционирования штанг, а, следовательно, достигается достаточно-качественное регулирование систем управления.

В целом, метод синтеза системы управления на основе свойства сверхустойчивости матрицы коэффициентов позволяет построить эффективное управление и избежать появления избыточных обратных связей, делающих систему в определенных случаях неустойчивой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации ГК №16.513.11.3002.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин, В.Л. Обработка оборудования на основе МПК [Текст] / В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов. - М.: Машиностроение, 2006.
2. Поляк, Б.Т. Сверхустойчивые линейные системы управления [Текст] / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. - I: Анализ // Автоматика и телемеханика. - 2002. - №8. - С. 37-53.
3. Поляк, Б.Т. Сверхустойчивые линейные системы управления [Текст] / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. II: Синтез // Автоматика и телемеханика. - 2002. - №11. - С. 56-75.
4. Поляк, Б. Т. Обобщенная сверхустойчивость в теории управления [Текст] / Б.Т. Поляк // Автоматика и телемеханика. - 2004. - №4. - С. 70-80.
5. Диментберг, Ф. М. Метод винтов в прикладной механике [Текст] / Ф.М. Диментберг. - М.: Машиностроение, - 1971.
6. Глазунов, В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры [Текст] / В.А. Глазунов, А.Ш. Колискор, А.Ф. Крайнев. - М. Наука, 1991. - 94 с.
7. Лазарев, Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в Matlab: Пакеты Signal Processing Tools, Control Toolbox и Simulink с библиотеками Aerospace, SimPowerSystems, SimMechanics [Текст] / Ю.Ф. Лазарев. - СПб.: Издательский дом Питер, 2005. - 512 с.

Лариса Александровна Рыбак
Доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология машиностроения»
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Телефон: (4722) 230530
E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

Юрий Александрович Мамаев
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Телефон: (4722) 230530
E-mail: Mamaev-bel@yandex.ru

Алексей Валерьевич Чичварин

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматизированные и информационные системы
управления»

Старооскольский технологический институт

(филиал) «Московский институт стали и сплавов», г.

Старый Оскол

Телефон: (4722) 230530

E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

Елена Владимировна Гапоненко

Аспирантка кафедры «Технология машиностроения»

Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Телефон: (4722) 230530

E-mail: Lena-gap1987@mail.ru

L.A. RYBAK, A.V. CHICHVARIN, Y.A. MAMAEV, E.V. GAPONENKO

SYNTHESIS OF THE CONTROL SYSTEMS ONE- AND TWO SECTION MANIPULATOR WITH PARALLEL KINEMATICS

In this paper describes the synthesis of the control system of one-and two-section manipulators with parallel kinematics based on the principle superstability. The data of mathematical modeling of control systems are presented. Recognized that the synthesis of the control systems based on superstability allows to build effective control and to avoid the appearance of excessive feedback, making the system unstable in certain cases.

Keywords: *manipulators of parallel structure; hexapod; superstability; the synthesis of control systems; mathematical model*

BIBLIOGRAPHY

- [1] Afonin, V.L., Processing equipment, based on parallel kinematics of manipulators [Text] / V.L. Afonin, P.V. Podzorov, V.V. Sleptsov. – Moscow: Machinery. - 2006.
- [2] Polyak, B.T. Superstable linear control systems [Text] / B.T. Polyak, P.S. Shcherbakov. - I: Analysis // Automation and Remote Control. - 2002. - Number 8. - P. 37-53.
- [3] Polyak, B.T. Superstable linear control systems [Text] / B.T. Polyak, P.S. Shcherbakov. - II: Synthesis // Automation and Remote Control. 2002. Number 11. - P. 56-75.
- [4] Polyak, B.T. A generalized control theory superstability [Text] / B.T. Polyak // Automation and Remote Control. - 2004. - Number 4. - Pp. 70-80.
- [5] Dimentberg, F.M. Method screws in Applied Mechanics [Text] / F.M. Dimentberg. – Moscow: Machinery. - 1971.
- [6] Glazunov, V.A., Koliskor, A.S., Krainev, A.F. The spatial structure of parallel mechanisms [Text] / V.A. Glazunov, A.S. Koliskor, A.F. Krainev. - Moscow. Science, 1991. – 94 p.
- [7] Lazarev, J.F. Modeling of processes and systems in Matlab: Packages Signal Processing Tools, Control Toolbox and Simulink libraries Aerospace, SimPowerSystems, SimMechanics [Text] / J.F. Lazarev. - St. Petersburg. Publishing House, Peter, 2005. – 512 p.

Larisa Alexandrovna Rybak

Doc. Sc. tech., Prof. of the department "Engineering
Technique"

Belgorod Shukhov State Technological University,
Belgorod

Phone: (4722) 230530

E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

Yuriy Alexandrovich Mamaev

Post graduate student of the department "Engineering
technique"

Belgorod Shukhov State Technological University, Bel-
gorod

Phone: (4722) 230530

E-mail: Mamaev-bel@yandex.ru

Alexey Valeryevich Chichvarin

Can. Sc. tech., Associate Prof. of the department
"Automated and information control systems"

Stary Oskol Technological Institute (Branch of Moscow
Steel and Alloy Institute), Stary Oskol

Phone: (4722) 230530

E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

Elena Vladimirovna Gaponenko

Post graduate student of the department "Engineering
technique"

Belgorod Shukhov State Technological University, Bel-
gorod

Phone: (4722) 230530

E-mail: Lena-gap1987@mail.ru

УПРОЧНЯЮЩЕЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье рассматривается эффект увеличения механической прочности защитных лаковых покрытий на основе акриловых смол марок «MobiHel Helios 2K MS 2:1» и «Standex 2K VOC - Premium Klarlack» при введении в них неагломерированных наночастиц. Этот эффект наступает лишь при строго установленных сверхмалых концентрациях наночастиц, порядка 1 ppm, в модифицируемом материале. Обнаружение эффекта наномодифицирования стало возможным лишь при использовании для этой цели наномодификатора ArmCar, разработанного компанией ЗАО «Перспективные технологии». Этот продукт содержит практически неагломерированные частицы наноалмазов и углеродных нанотрубок.

Ключевые слова: Наноалмазы, наномодификатор, лаковые покрытия, микроконцентрации наномодификатора, упрочнение лакового покрытия

ВВЕДЕНИЕ

Модифицирование материалов путем введения в них различного рода наночастиц представляет собой одно из актуальных направлений развития нанотехнологий новых видов конструкционных и функциональных материалов.

Системы неагломерированных наночастиц, в отличие от их агрегированного состояния, до типичных размеров порядка нескольких микрон, можно отнести к высокоэнергетическим продуктам с концентрацией (плотностью) энергии порядка нескольких кДж на см³ материала наночастиц [1]. Это поверхностная составляющая этой энергии. Поэтому для сохранения наночастиц в практически дезагрегированном состоянии требуется специальная защитная жидкая дисперсионная среда.

Наш опыт показывает, что применение ПАВ и заряжающих электролитов в жидких дисперсионных средах не позволяет полностью сохранять наночастицы в дезагломерированном состоянии, по крайней мере, в течение достаточно длительного срока хранения. Здесь необходимо применять специальные дисперсионные среды, создающие максимальное расклинивающее давление. Этим требованиям удовлетворяет недавно появившийся на рынке продукт ArmCar, разработанный компанией ЗАО «Перспективные технологии» [2]. Для получения этого продукта используют новую специальную технологию, в которой изолированные наночастицы получают в жертвенных микрореакторах [3]. Однако, сфера его применения для модифицирования материалов остается пока малоизученной.

Целью настоящей работы было исследование возможности применения жидкой дисперсии ArmCar для модифицирования защитных лакокрасочных покрытий, а также изучение влияния различных факторов (температуры, времени формирования) на их свойства. В качестве модифицируемого лакового покрытия были выбраны двухкомпонентные акриловые лаки - марки «MobiHel Helios 2K MS 2:1» и лак более высокого класса марки «Standex 2K VOC - Premium Klarlack» [4,5].

Продукт ArmCar был исследован методами электронной микроскопии [1,6]: просвечивающей (микроскоп марки JEM-1011, максимальное увеличение – 500000) и сканирующей (микроскоп марки Tescan Vega11 LMN, максимальное увеличение – 50000). Сканирующий электронный микроскоп был снабжен катодолуминесцентным детектором MonoCL3 фирмы Gatan. Общую массовую концентрацию наночастиц в продукте определяли весовым методом путем послойного нанесения продукта на стеклянную подложку методом окунания с последующей сушкой на воздухе при комнатной температуре [6]. Размер наночастиц определяли методом фотонной корреляционной спектроскопии при помощи прибора Nanotrac Ultra 251 [1].

ArmCar представляет собой золь практически неагломерированных наноалмазов с преимущественным размером 4 нм и многостенных углеродных нанотрубок с преимущественным внешним диаметром 15 нм в органической дисперсной среде с общей

концентрацией наночастиц порядка 8 г/л [6]. Наноалмазы в продукте ArmCar идентифицированы по характерному спектру катодолюминесценции, вызванному дефектами типа Па [1].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В рамках данной работы использовали двухкомпонентные лакокрасочные смеси на основе акриловых смол марок «MobiHel Helios 2K MS 2:1» и «Standox 2K VOC - Premium Klarlack» [4,5]. Наночастицы продукта ArmCar вводили в лакокрасочные покрытия марки MobiHel Helios при различных концентрациях путем смешения исходного золь (исходного коллоидного концентрата) ArmCar с разбавителем «MobiHel Helios 2K разбавитель 2100» [4] в различных объемных соотношениях в диапазоне уровней разведения от 1:1 до 1: 8191. В результате получали различные степени разведения (разбавления) первоначального концентрата. После этого, следуя указаниям технической документации на этот лакокрасочный материал, смешивали лак «бесцветный лак MobiHel Helios 2K 2:1» [4] с его отвердителем «MobiHel Helios 2K отвердитель 8800» [4] в соотношении 2:1 по объему и добавляли к этой смеси разбавленный ArmCar в объемном соотношении 9:1. Подобным же образом наночастицы продукта ArmCar вводили в лакокрасочные покрытия марки «Standox 2K VOC-Premium» [5]. Но в этом случае разведение ArmCar осуществляли отвердителем.

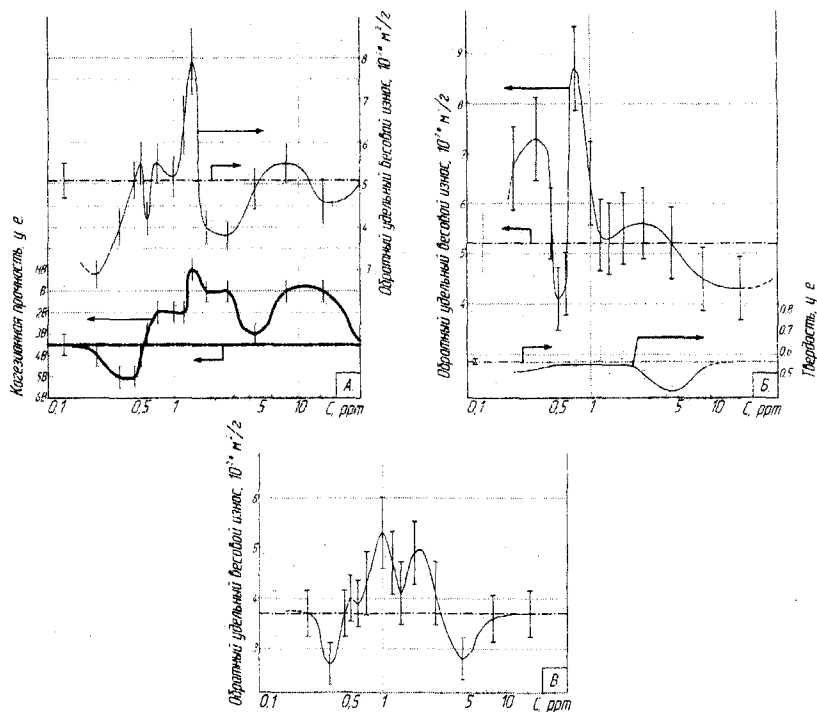


Рисунок 1 Зависимость когезионной прочности по карандашу, обратного удельного весового износа и твердости по маятнику Кенинга (сплошные линии) лакового покрытия «MobiHel Helios 2K MS 2:1» от массовой доли C (ppm) наночастиц в этом покрытии; штрих - пунктирные линии – уровни исходных характеристик лакового покрытия до модифицирования. Серию покрытий наносили и выдерживали при температуре 20°C , время формирования покрытий 7 (А), 30 (Б) и 60 (В) суток

В результате получали серию образцов лакокрасочных смесей, содержащих различные концентрации наночастиц. Эти концентрации рассчитывали, используя выражение:

$$\bar{c} = \frac{c}{[\bar{c}_{\text{соот}} \cdot \rho_{\text{от}} \cdot (1 - \tilde{c}_c) + \bar{c}_{\text{сое}} \cdot \rho_c \cdot \tilde{c}_c] \cdot (\lambda \nu - 1)}, \quad (1)$$

где c - концентрация наночастиц в исходном AtmCar [кг/л], $\tilde{c}_c$ - объемная концентрация смолы (лака) в смеси лака и отвердителя [л/л], $\tilde{c}_{соот}$ - массовая доля сухого остатка отвердителя в 1 кг жидкого отвердителя [кг/кг], $\tilde{c}_{сое}$ - массовая доля сухого остатка смолы (лака) в 1 кг жидкой смолы (лака), $\rho_{от}$ - плотность жидкого отвердителя [кг/л], ρ_c - плотность жидкой смолы (лака) [кг/л], v - уровень разбавления (разведения) исходного коллоидного концентрата, λ - уровень разбавления разбавленного коллоидного концентрата лаковой смесью.

После этого лакокрасочную смесь наносили методом пневмораспыления на стандартные металлические и стеклянные тестовые пластины (в соответствии с ГОСТ 8832-76) с последующей сушкой при комнатной температуре или при температуре 60°C в течении 30 минут с последующей сушкой при комнатной температуре [7]. Прочность покрытия оценивали по трем характеристикам: когезионная прочность по карандашу (в соответствии с ISO 15184), удельному весовому износу при абразивном натирании (в соответствии с ГОСТ 20811-75) и твердости по маятниковому прибору (ГОСТ 5233-89 (ИСО 1522-73)) для различных времен формирования покрытия [8 - 10]. Первые два вида испытаний характеризуют прочность покрытия на разрушение, так как в данном случае измеряется отклик на разрыв материала. Третий метод испытания лакокрасочных покрытий основан на измерении необратимого вдавливания стального шарика в материал покрытия без его разрушения и фактически отражает пластические свойства материала.

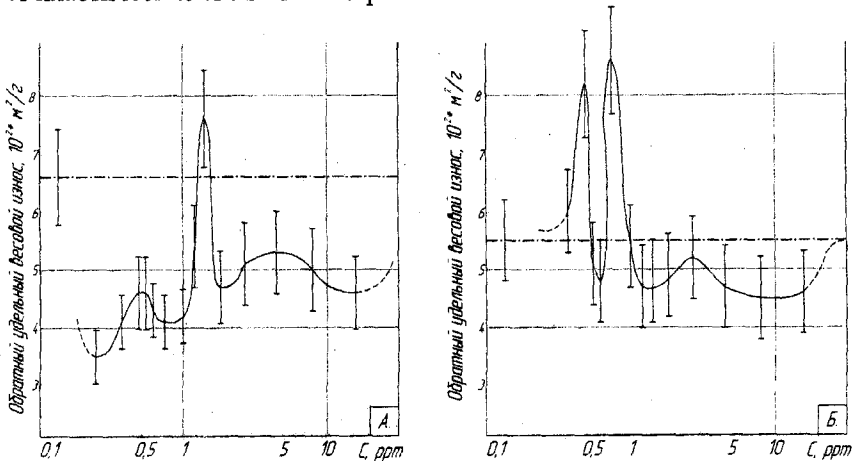


Рисунок 2 Зависимость обратного удельного весового износа (сплошные линии) лакового покрытия «Möbiel Helios 2K MS 2:1» от массовой доли C (ppm) наночастиц в этом в этом покрытии; штрих - пунктирные линии - уровни исходных характеристик лакового покрытия до модифицирования. После нанесения серию покрытий выдерживали при 60°C в течение 30 минут и далее - при температуре 20°C в течение 7 (А) и 30 (Б) суток

В силу практически полной дезагломерации частиц в продукте AtmCar он обнаруживает необычные свойства при введении его в различные материалы. Так, например, на рисунке 1 видно увеличение когезионной прочности лакового покрытия Möbiel Helios 2K MS 2:1 и коррелирующее с ним увеличение обратного удельного весового износа (рисунок 1 А) до максимумов наступает при очень малых концентрациях наночастиц порядка 1 ppm. Эта величина на два и более порядка ниже обычно используемых для упрочнения материалов концентраций наночастиц, полученных другими способами, например, воздушно - сухих, и потому необратимо агломерированных, наноалмазов детонационного синтеза [11]. Такой эффект можно объяснить структурированием материала модифицируемой матрицы вокруг каждой отдельной неагломерированной наночастицы [1]. Размер структурированной области может составлять порядка нескольких микрон [1]. Здесь предполагается самоорганизация структуры матрицы под воздействием рекордной поверхностной энергии наноалмазов. Это

явление проявляется при счетной концентрации наночастиц в модифицируемом материале, достаточной для перекрытия такого рода структурированных областей. При этом структурирование может привести к упрочнению всей матрицы в целом.

Следует отметить, что при увеличении концентрации наночастиц в сторону от максимума может наступить их агломерация. В результате уменьшается счетная концентрация наночастиц в матрице и, соответственно, увеличивается расстояние между образовавшимися агломератами. Полное перекрытие структурированных областей исчезает и происходит, как видно на рисунках 1 - 3, потеря прежней прочности модифицируемого материала. При последующем увеличении концентрации опять увеличивается счетная концентрация их агломератов. В результате уменьшается расстояние между ними и снова происходит перекрытие структурированных областей и повторное увеличение прочности до максимума, но при большей, чем в предыдущем случае, массовой концентрации наночастиц. Последующее увеличение концентрации наночастиц в матрице, как видно из рисунков 1 - 3, может привести к повторению описанных процессов, но для более крупных агломератов или агломератов наночастиц более высокого порядка (агломератов агломератов). Судя по всему, здесь имеет место аналог процесса достижения предела растворимости в истинных растворах. Все это приводит к периодической смене максимумов и минимумов прочностных характеристик модифицируемого материала.

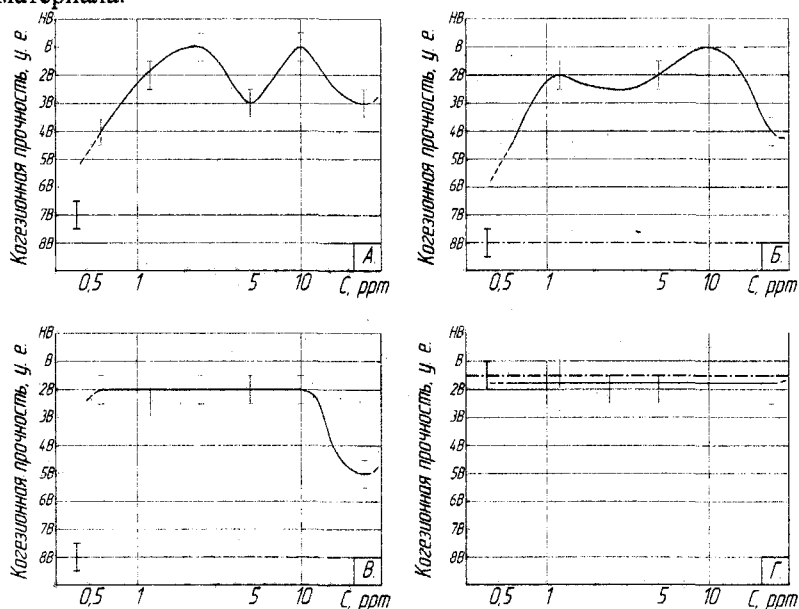


Рисунок 3 Зависимость когезионной прочности (сплошные линии) лакового покрытия «Standex 2K VOC-Premium Klarlack» от массовой доли C (ppm) наночастиц в этом покрытии; штрих - пунктирные линии - уровни исходных характеристик лакового покрытия до модифицирования. Серию покрытий наносили и выдерживали при температуре 20°C , время формирования покрытий 7 (А), 15 (Б), 32 (В) и 64 (Г) суток

Измерение прочности покрытия лакового покрытия «Mobihel Helios 2K MS 2:1» с течением времени показывает (рисунок 1), что происходит некоторое смещение максимумов, а также наступает значительное уменьшение прочности, как для модифицированных образцов покрытия, так и для немодифицированных. Это, по-видимому, связано с деградацией покрытия за счет процессов его окисления. Для лака более высокой категории «Standex 2K VOC-Premium Klarlack» такого рода явления не наблюдали (рисунок 3).

Формирование немодифицированного лакового покрытия «Mobihel Helios 2K MS 2:1» при его нагреве сопровождается увеличением его прочности на разрушение (рисунок 2). Это результат увеличения степени полимеризации лака и ускорения этого процесса. Характерно, что при этом поведение во времени максимумов этой характеристики существенно не изме-

яется (рисунки 1 и 2). Поэтому модифицирование продуктом AtmCar может заменить дорогостоящую операцию тепловой обработки покрытия призванную упрочнить покрытие и ускорить скорость этого упрочнения.

Серию лаковых покрытий марки «Mobihel Helios 2K MS 2:1» также исследовали методом маятникового твердомера (марки ТМЛ - 2124). Необычно то, что в области возникновения максимумов и минимумов когезионной прочности эта характеристика остается практически постоянной (рисунок 1Б). Этот говорит о том, что введение наночастиц приводит к увеличению прочности материала, но, в отличие от случая высококонцентрационного армирования более крупными частицами или агломератами наночастиц, мало влияет на его пластичность. Действительно, неагломерированные наночастицы в данном случае занимают очень малый объем в структурированных ими областях и при пластической деформации материала вероятность прохождения плоскости скольжения через сами наночастицы достаточно мала.

Для лакового покрытия премиум класса марки Standox, наномодифицированного продуктом AtmCar, также наблюдали чередования максимумов и минимумов прочности на разрушение (рисунок 3). Здесь максимальный уровень прочности модифицированного покрытия достигается уже спустя 7 суток с момента получения покрытия, без применения модифицирования – не менее, чем через 30 суток. Здесь AtmCar так же, как и в предыдущем случае выступает в роли ускорителя упрочнения покрытия.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

На примере упрочняющего модифицирования защитных лаков марок «Mobihel Helios 2K MS 2:1» и «Standox 2K VOC-Premium Klarlack» неагломерированными наночастицами, близкими по своему характерному размеру к единицам нм, показано его существенное отличие от традиционного армирования частицами микронных размеров (в частности, - агломератами наночастиц). Решающим фактором здесь является структурирование материала модифицируемой матрицы вокруг каждой отдельной неагломерированной частицы на расстоянии порядка одного микрона. Модифицирующая наночастица, в отличие от армирующей частицы микронного размера, занимает пренебрежимо малый объем в своей структурированной матрице. Максимум прочности наступает при полном перекрытии указанных структурированных областей. В результате получается, что для упрочняющего модифицирования нужны ничтожно малые концентрации наночастиц порядка 1 ppm. Для армирования микронными частицами необходимо создавать концентрации на два и более порядков большие. Следует отметить, что зафиксировать и исследовать процесс наномодифицирования стало возможным благодаря применению нового продукта AtmCar.

Для модифицирования неагломерированными наночастицами характерно наличие нескольких максимумов и минимумов прочностных характеристик, которые можно связать с последовательной агломерацией наночастиц при увеличении их концентрации в матрице.

Упрочняющее наномодифицирование, в отличие от армирования, не сопровождается потерей пластических характеристик материала. Это можно объяснить тем, что неагломерированные наночастицы в данном случае занимают очень малый объем в структурированных ими областях и при пластической деформации материала вероятность прохождения плоскости скольжения через сами наночастицы достаточно мала.

Показанная на рисунках 1 – 3 статистическая достоверность максимумов и минимумов прочностных характеристик свидетельствует о том, что различные лаковые покрытия при одной и той же концентрации наномодификатора сохраняют свои характеристики. Отсюда можно сделать вывод, что введение наночастиц путем простого перемешивания компонентов лаковой смеси с модификатором приводит к практически равномерному распределению наночастиц в объеме модифицируемого материала. Это можно объяснить тем, что использованные для модифицирования наноалмазы по своим размерам приближаются к молекулам, а их коллоидные растворы близки по своим свойствам к истинным растворам, по отношению к которым нет проблем с перемешиванием.

В отличие от традиционного армирования, где существенную роль играет адгезия частиц к материалу матрицы, при наномодифицировании трансформации подвергается сам материал матрицы, а контактность частицы к матрице не играет существенной роли в следствии пренебрежимой малости наночастицы по сравнению со структурируемым ею объемом матрицы.

К частному выводу по результатам представленной работы, относящемуся непосредственно к наномодифицированию лаков марок «MobiHel Helios 2K MS 2:1» и «Standex 2K VOC-Premium Klarlack», можно отнести эффект ускорения упрочнения лаковых покрытий.

В заключение следует отметить, что использование готовых наножидкостей, таких как ArmCap, позволяет избежать дополнительных операций по диспергированию растворов, которые имеют место при использовании воздушно-сухих нанпродуктов, всегда находящихся в агломерированном состоянии.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Провоторов, М.В. Концептуальные проблемы модифицирования материалов наноразмерными частицами [Текст] / М.В. Провоторов, М.В. Трухина, О.Н. Бобылева // Сб. IX Международной научно-практической конференции «Наука и современность – 2011». Ч.2 Под общ. ред. к.э.н. С.С.Чернова. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2011. – С. 149 - 156.

2.3АО «Перспективные технологии», г. Химки [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.persptech.ru

3.Пат. 2397139 РФ, МПК B82B3/00 (2006.01). Способ и устройство для непрерывного производства нанодисперсных материалов [Текст] // Гусев С.В., Провоторов М.В., Харитонов Е.Л., Гусев А.В., Несмелов А.С., Шакуров В.В.; заявлено 3.12.2008; опубликовано 20.08.2010, – 33 с.

4.АО «HELIOS», [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mobihel-helios.ru>

5.Standex, GmbH, Wuppertal, Germany [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.standex.com>

6.Трухина, М.В. Модифицирование защитного лакового покрытия MobiHel Helios MS 2:1 наноалмазами и многостенными углеродными нанотрубками [Текст] / М.В. Трухина, О.Н. Бобылева, М.В. Провоторов // Сб. Второй Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». Под ред. Член-корр. РАН Е.В. Юртова. – М:РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. - С. 145-149.

7.ГОСТ 8832-76. Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания. Введ. 1977-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. – 14 с.

8.Международный стандарт ISO 15184. Краски и лаки. Определение прочности пленки с помощью карандаша. Перевод Макарова Н.К. под ред. Ткаченко А.С. Введ. 1998-01-11. М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.

9.ГОСТ 20811-75. Материалы лакокрасочные. Методы испытания покрытий на истирание. Введ. 1975-05-11. М.: Ордена «Знак Почета» издательство стандартов, 1992. – 11 с.

10.ГОСТ 5233-89 (ИСО 1522-73). Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору. Введ. 1990-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. – 9 с.

11.Тикунова, Е.П. Проблема агрегирования наноразмерной алмазной шихты и пути преодоления [Текст] / Е.П. Тикунова, М.Ю. Яблокова, Т.С. Куркин // IV Международная конференция по химической технологии ХТ'12, 18-23 Марта 2012. - Москва, 2012. - Т. 2. – С. 145-147.

Мария Васильевна Трухина

Аспирантка

Российский химико-технологический университете

им. Д.И. Менделеева

Тел: (495) 496-68-45

E-mail: truheniy-mv@yandex.ru

Михаил Викторович Провоторов

Кандидат химических наук, доцент

Российский химико-технологический университете

им. Д.И. Менделеева

Тел: (495) 496-68-45

E-mail: Provotorov_mv@mail.ru

M.V. TRUKHINA, M.V. PROBOTOROV

HARDENING NANOMODIFICATION OF LACQUER COATINGS

In this article increasing effect of the mechanical strength of protective lacquer coatings "Mobihel Helios 2K MS 2:1" and "Standex 2K VOC-Prremium Klarlack" by adding not agglomerated nanoparticles are considered. This effect appears at concrete low concentrations of nanoparticles (about 1 ppm) in the modified material. This effect of nanomodification was achieved by using of nanomodifier ArmCap developed by company "Perspective technologies". This product contains not agglomerated particles of nanodiamonds and carbon nanotubes.

Key words: nanomodifier, lacquer coatings, micro concentrations of nanomodifier, strengthening of lacquer coating.

BIBLIOGRAPHY

- [1]Provotorov, M.V. Conceptual problems of modification materials by nanosized particles [Text] / M.V. Provotorov, M.V. Trukhina, O.N. Bobileva // Collection reports of IX International scientific - practical conference «Science and Modernity – 2011». Novosibirsk, Russia (edited S. Chernov). Novosibirsk: Publishing House NSTU, 2011. – 258 p. - Pp. 149-156.
- [2]ZAO «Perspective technologies», Khimki [www.persptech.ru].
- [3]Pat. 2397139 RF, IPC B82B3/00. Method and apparatus for continuous production of nanosized materials / Gusev S.V., Provotorov M.V., Kharitonov Y.L., Gusev A.V., Nesmelov A.S., Shakurov V.V.; announced 12.3.2008, published 20.08.2010, - 33p.
- [4]AO «HELIOS», [http://www.mobihel-helios.ru].
- [5]Standex GmbH, Wuppertal, Germany [<http://www.standex.com>].
- [6]Trukhina, M.V. Modification of lacquer coatings by nanodiamonds and multiwall carbon nanotubes [Text] / M.V. Trukhina, O.N. Bobileva, M.V. Provotorov // Proc. Second All-Russian School-Seminar students, graduate students and young scientists «Functional nanomaterials and high-purity substances». Ed. Yurtov E. - M: D. Mendelev University of Chemical Technology of Russia, 2011. - Pp. 145-149.
- [7]GOST 8832-76. Painting materials. Producing method of lacquer coatings for testing. M.: Standartinform, 2006. – 14 p.
- [8]ISO 15184. Painting materials. Determination film hardness by pencil. Translation Makarova N., edited Tkachenko A. M.: Standartinform, 2008. – 8 p.
- [9]GOST 20811-75. Painting materials. Test methods of lacquer coatings to abrasion. M.: Order 'Honor' publishing standards, 1992. – 11 p.
- [10]GOST 5233-89 (ISO 1522-73). Painting materials. Method for determination of lacquer coatings hardness by pendulum device. M. Standartinform, 2006. – 9 p.
- [11]Tikunova, E. The problem of aggregation nanosized diamond charge in an epoxy matrix and ways of overcoming [Text] / E. Tikunova, M. Yablokov, T. Kurkin // IV International Conference on Chemical Engineering ChemTech'12, 18-23 March 2012, Moscow, 2012. - T. 2. - Pp. 145-147.

Trukhina Mariya Vasilevna
Postgraduate student
D. Mendelev University of Chemical Technology
of Russia
Phone : (495) 496-68-45
E-mail: truheniy-mv@vandex.ru

Provotorov Mikhail Viktorovich
Ph.D., docent
D. Mendelev University of Chemical Technology
of Russia
Phone: (495) 496-68-45
E-mail: Provotorov_mv@mail.ru

УДК 621.03; 620.179.16

С.Н. ХИМУХИН, И.А. АСТАПОВ, М.А. ТЕСЛИНА, В.В. ГОСТИЩЕВ,
ХОСЕН РИ, Э.Х. РИ

ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ НИКЕЛЯ

В статье рассмотрено изменение состава, структуры и свойств металла в слитках полученных методом металлургии в индукционной печи. Для получения заданного состава сплава выплавку необходимо проводить с обдувом поверхности расплава аргоном и учитывать потери никеля на угар при расчете шихты. Использование центробежной разливки позволяет формировать дисперсные структурные составляющие сплава в слитке. При увеличении содержания никеля (более 60 %, мас.) прочность металла в слитке резко увеличивается, что позволяет рекомендовать к использованию такие сплавы в качестве анодных материалов для ЭИЛ.

Ключевые слова: алюминиды никеля, фрактография изломов, микроструктура сплава, микротвердость.

ВВЕДЕНИЕ

Интерметаллидные сплавы на основе алюминидов никеля широко применяются в современном машиностроении как жаропрочные и жаростойкие материалы, из которых изготавливают лопатки газотурбинных установок для самолетных и ракетных двигателей [1, 2].

Основным препятствием для более широкого внедрения указанных материалов в условиях промышленного производства является их высокая стоимость и технологические сложности получения больших объемов для изготовления конструкций. Анализ литературных данных показывает, что зачастую нет необходимости создавать детали целиком из интерметаллидных сплавов, достаточно получить покрытие на их поверхности [3, 4]. Наибольший интерес в настоящее время представляют методы, использующие источники концентрированных потоков энергии, газодинамический, плазменный, лазерный. К числу таких методов относится и технология получения покрытий методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Метод основан на электроискровом взаимодействии между анодом (обрабатываемым электродом) и катодом (деталью) [5], и обладает рядом преимуществ. В тоже время для получения покрытий методом ЭИЛ с заданным составом и свойствами на предварительном этапе необходимо решить одну из основных задач, связанную с получением анодного материала, удовлетворяющего ряду требований, основными из которых являются прочность материала и высокие показатели массопереноса. При этом расход металла идущего на изготовление анодов незначителен, что повышает экономическую целесообразность метода и позволяет выплавливать небольшие объемы сплава.

Таким образом, целью данной работы является разработка технологии получения анодных материалов на основе алюминидов никеля с различным соотношением структурных составляющих и ориентированных на использование для создания покрытий методом ЭИЛ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выплавку электродных материалов проводили в индукционной печи. В качестве шихтовых материалов использовали катодный никель и алюминий первичный (А7). Шихтовые материалы в виде кусочков металла загружали в тигель и нагревали. В процессе выплавки для предотвращения окисления расплава атмосферным кислородом проводили его обдув аргоном, необходимый расход которого определяли в предварительных экспериментах. После приготовления сплава и последующего перегрева (50-80°C) разливку производили центробежным методом, что позволяло получить в металле мелкозернистое строение структурных составляющих и уменьшало время окисления расплава. Для разливки использовали графитовую многоразовую форму, которую предварительно высушивали и подогревали до температуры 500° С. Анализ структуры и свойств литого металла проводили с использованием металлографического, спектрального и рентгенофазового анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 приведены основные параметры выплавленных интерметаллидных сплавов. Сравнительным анализом концентрации никеля в исходной шихте и в полученном сплаве установлено, что максимальный угар никеля (14 -16 %) наблюдается в металле сплава 5 (87 % Ni, 13 % Al), где в процессе выплавки необходимы наиболее высокие температуры перегрева, выше температуры ликвидус. В металле различных плавов угар никеля изменяется от 1 мас.% до 16 мас.%.

Одним из наиболее важных характеристик анодных материалов является их прочность при ударных знакопеременных нагрузках, что обусловлено физической природой метода ЭИЛ, основанного на электроэрозионных процессах, протекающих между электродами. Поэтому после извлечения из формы металл всех плавов подвергали разрушению в условиях консольного изгиба. Полученные изломы изучали методами фрактографии. Наиболее хрупко, при небольших нагрузках на изгиб разрушается металл плавов 1 и 2 (рисунок 1). Изломы

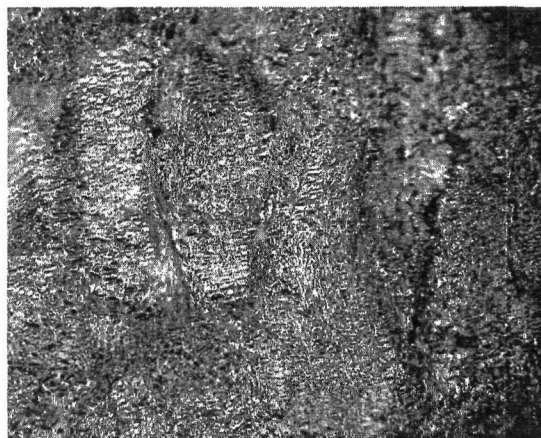
металла этих плавов являются хрупкими, в изломе металла плавки 1 видны мелкие хрупко разрушенные пластинки интерметаллидов закономерно ориентированные и объединенные в крупные «дендритные» области (рисунок 1, а). Размеры пластинок интерметаллидов в изломе металла плавки 2 таких - же размеров, но согласованную ориентацию имеют только в пределах отдельных фасеток (рисунок 1, б). В металле плавки 3 размер фасеток хрупкого излома увеличивается, и излом приобретает вид ступенчатого (рисунок 1, в). Дальнейшее увеличение концентрации никеля в сплавах (плавки 4, 5) приводит к увеличению прочности сплава и доли вязкой составляющей в хрупко-вязком изломе (рисунок 1, г). Микроструктура металла плавки 1 представлена на рисунке 2, а. Металл сплава содержит незначительное количество пор. Сплав представлен тремя фазами, первая - Ni_2Al_3 , вторая - $NiAl_3$ и третья - твердый раствор никеля в алюминии (Al). При затвердевании в первую очередь образуются кристаллы фазы Ni_2Al_3 , затем $NiAl_3$ по перитектической реакции. В завершении формируется эвтектика, состоящая из $NiAl_3$ и (Al). Микротвердость фазы Ni_2Al_3 в различных областях литого металла изменяется в большом диапазоне (от 3341 до 6179 МПа). Микротвердость области металла, занятого фазой $NiAl_3$, измеренного на периферии и в центральной части литого образца, изменяется от 1907 до 2674 МПа. Необходимо отметить крайне высокую хрупкость данной фазы, которая зачастую разрушается при проникновении в нее индентора твердомера. Микротвердость областей между двумя выделившимися фазами алюминидов никеля составляет 600-943 МПа, что соответствует твердости легированного алюминия.

Таблица 1 - Параметры металла экспериментальных плавов 1 – 5

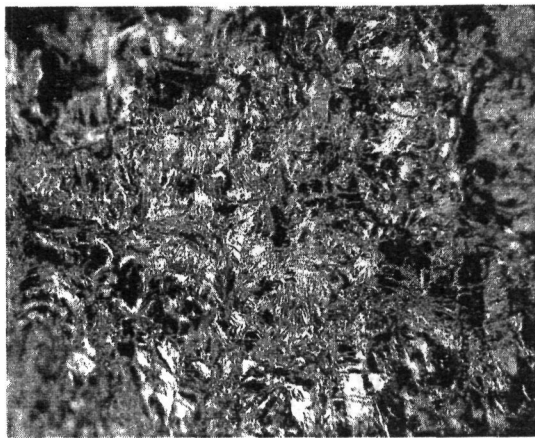
Сплавы алюминия с никелем										
Номер плавки	1		2		3		4		5	
Компоненты сплава	Ni	Al	Ni	Al	Ni	Al	Ni	Al	Ni	Al
Исходное содержание компонентов, мас. %	40	60	59	41	74	25	87	13	93	6
Фактическое содержание компонентов в слитке, масс. %	33	66	57	41	66	32	79	20	83	16
Примеси Fe в сплаве, мас. %	0,2		0,2		0,1 - 0,2		0,1 - 0,2		0,2	
Фазовый состав сплава	$NiAl_3$, Ni_2Al_3 , (Al)		Ni_2Al_3 , $NiAl_3$,		NiAl		$NiAl$, Ni_3Al		$NiAl$, Ni_3Al	

При уменьшении содержания в сплаве алюминия (плавка 2) металл в основном состоит из одной фазы Ni_2Al_3 (рисунок 2, б). Как и в предыдущем случае, металл сплава содержит литейные дефекты в виде небольшого количества пор. Травление позволяет выявить границы зерен, размер которых существенно изменяется от 8 до 38 мкм. Микротвердость литого металла изменяется от 4291 до 5297 МПа, однако после отжига несколько снижается (3546-4592 МПа), что объясняется снятием внутренних напряжений в сплаве.

Рост концентрации никеля в сплаве плавки 3 приводит к формированию однофазного сплава NiAl. До травления дендритное строение слабо различимо, видны мелкие черные поры с находящимися внутри включениями. После травления поры растравливаются и становятся более заметными светлыми включениями, находящимися внутри них. Травлением выявляются крупные зерна с внутренней дендритной структурой (рисунок 2, в), микротвердость которых колеблется от 1907 до 2821 МПа в зависимости от области исследования.



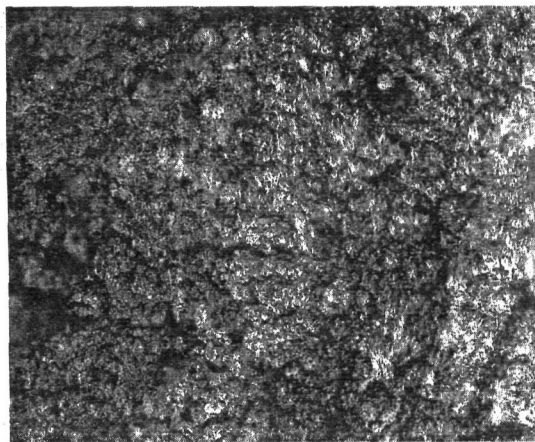
а



б



в



г

*Рисунок 1 - Фрактограммы изломов металла (поляризованный свет X50) плавов:
а - 1; б - 2; в - 3; г - 5*

Увеличение добавки никеля в сплаве (плавка 4) способствует формированию двух-фазной структуры, состоящей из NiAl и Ni_3Al . После травления выявляются границы зерен NiAl (поляризованный свет, рисунок 2, г), что позволяет оценить размеры зерен (от 27-179 мкм) и микротвердость в зависимости от расположения области исследования (2820-3770 МПа). Микроструктура второй фазы после литья выявляется слабо, поэтому провели отжиг образцов при температуре 800° , что позволило измерить ее микротвердость (1374-2539 МПа). Для данного сплава при охлаждении характерно выделение избыточного никеля в виде фазы Ni_3Al . После отжига заметно изменилась микротвердость металла занятого фазой NiAl (1748-3340 МПа). Кроме этого отжиг позволил более четко выявить мелкие поры размером 4-7,5 мкм с находящимися внутри включениями.

Дополнительно был проведен эксперимент с использованием металла сплавов 1-5, в качестве анодных материалов для ЭИЛ. При этом показана целесообразность использования для электроискровой обработки анодов изготовленных из металла плавов 3 - 5. Необходимо отметить, что как и при выплавке, так и при ЭИЛ для предотвращения окисления сплава в покрытии необходимо обеспечение защиты формирующегося покрытия аргонном.

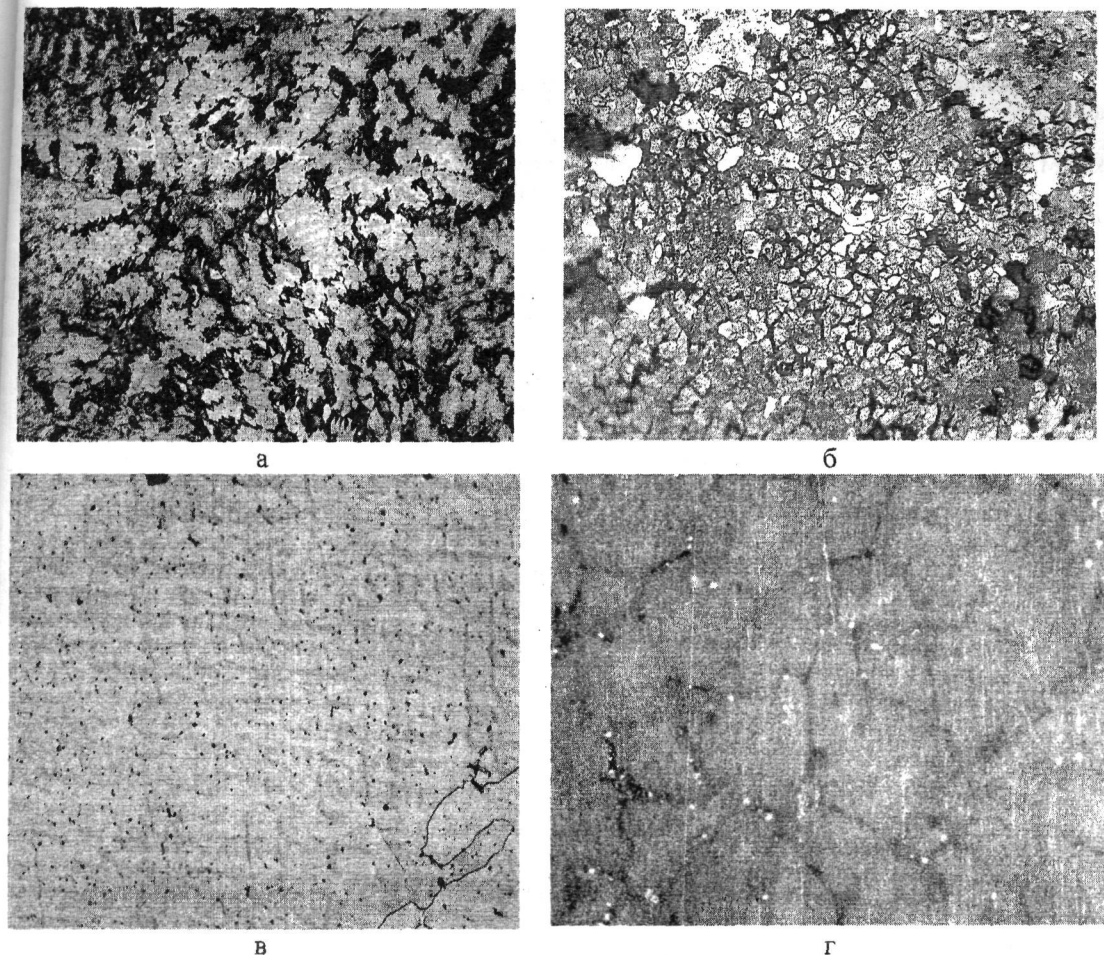


Рисунок 2 - Микроструктура металла плавов 1-5 X200;
а - 1; б - 2; в - 3; г - 5

Обобщая полученные результаты в целом, необходимо отметить, что разработанная технология индукционной плавки с последующей центробежной разливкой позволяет получать сплавы на основе алюминидов никеля с заданным составом и различными свойствами. Исходя из литературных данных и учитывая собственный опыт [6] наиболее целесообразно для анодных материалов использовать металл плавов 3 – 5. В тоже время, учитывая возможности, которые дает модифицирование и термообработка нецелесообразно отказываться от использования металла сплавов 1, 2 в будущем.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Выплавка сплавов алюминидов никеля в индукционной печи позволяет получать заданное соотношение компонентов в слитке при использовании обдува поверхности расплава аргоном и учете потерь никеля на угар.
2. При увеличении содержания никеля (более 60%, мас.) прочность литого металла резко увеличивается, что позволяет использовать сплавы этих составов в качестве анодных материалов для ЭИЛ.
3. В условиях получения слитков из сплавов на основе алюминидов никеля центробежной разливкой показана возможность формирования структурных составляющих различной дисперсности, однородности и твердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов, Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия) [Текст] / Е.Н. Каблов. – М.: МИСИС, 2001. – 632 с.
2. Sikka, V.K. Processing and operating experience of Ni3Al-based intermetallic alloy IC-221M [Text] / V.K. Sikka, M.L. Santella, J.E. Orth // Materials Science and Engineering: Volumes 239–240, December 1997, Pp. 564–569.
3. Darolia, R. NiAl Alloys for high temperature structural applications [Text] / R. Darolia // J. Met. 1991. - V.43, N3. - Pp.44-49.
4. Dey, G.R. Micropyretic synthesis of tough NiAl alloys [Text] / G.R. dey, J.A. Sekhar // Metall. Mater. Trans. - B28. - 1997. - P. 905.
5. Химухин, С.Н. Формирование, микроструктура и свойства слоя на сталях при низковольтном электроискровом легировании [Текст] / С.Н. Химухин [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2011. - №4. - С. 7-11.
6. Химухин, С.Н. Электродный материал из белых комплексно-легированных чугунов [Текст] / С.Н. Химухин, Е.В. Муромцева // Упрочняющие технологии и покрытия. - №2. - 2008. – С. 42 – 46.

Химухин Сергей Николаевич
Доктор технических наук, доцент
ФГБУН Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН
89242030609
E-mail: ximuxin@yandex.ru

Ри Хосен
Доктор технических наук, профессор
Зав. кафедрой ЛП и ТМ. ФГБОУ ВПО ТОГУ

Астапов Иван Александрович
К.ф.-м.н, ФГБУН Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН
8-914-155-38-88
E-mail: vanchop@list.ru

Ри Э.Х.
Доктор технических наук, профессор
кафедра ЛП и ТМ. ФГБОУ ВПО ТОГУ
E-mail: erikri999@mail.ru

Теслина Мария Александровна
К.т.н., ФГБУН Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН
89242116330
E-mail: mari_teslina@mail.ru

Гостищев Виктор Владимирович
К.ф.-м.н, ФГБУН Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН
E-mail: vanchop@list.ru

S.N. KHMUKHIN, I.A. ASTAPOV, M.A. TESLINA, V.V. GOSTISCHEV,
HOSEN RI, E.H. RI.

SYNTHESIS OF ALLOYS BASED ON NICKEL ALUMINIDES

The article deals with the change of the composition, structure and properties of the metal in ingots produced by the metallurgy method in the induction furnace. To obtain the alloy of the desired composition it is necessary to carry out smelting using argon blowing off the melt surface and to take into account nickel burn-off loss when calculating the furnace burden. The use of the centrifugal casting allows to create the dispersed structural components of the alloy in the ingot. Nickel factor being increased (more than 60%, mas.), the metal strength in the ingot greatly increases. It makes these alloys applicable as the anode material at electro spark processing.

Key words: Nickel aluminides, fractography, alloy microstructure, microhardness

BIBLIOGRAPHY

- [1] Kablov, E. N. Cast blades of gas-turbine engines (alloys, technology, coatings) [Text] / E.N. Kablov. - M.: MISIS, 2001. – 632.
- [2] Sikka, V.K. Processing and operating experience of Ni3Al-based intermetallic alloy IC-221M [Text] / V.K. Sikka, M.L. Santella, J.E. Orth // Materials Science and Engineering: Volumes 239–240, December 1997, Pp. 564–569.
- [3] Darolia, R. NiAl Alloys for high temperature structural applications [Text] / R. Darolia // J. Met. 1991. - V.43, N3. - Pp.44-49.
- [4] Dey, G.R. Micropyretic synthesis of tough NiAl alloys [Text] / G.R. dey, J.A. Sekhar // Metall. Mater. Trans. - B28. - 1997. - P. 905.
- [5]. Khimukhin, S. N. Formation of the microstructure and properties of the layer on steels at low-voltage electro spark alloying [Text] / S.N. Khimukhin [etc.] // Hardening technologies and coatings. - 2011. - №4. –Pp. 7-11.
- [6] Khimukhin, S.N. Electrode material from white fully alloyed cast irons [Text] / S.N. Khimukhin, E.V. Muromtseva // Strengthening technologies and coatings. - №2. – 2008. Pp. 42 – 46.

Khimukhin Sergey Nikolaevich
Dr. of Technical Sciences, Professor
Head of "Functional and Instrumental
Materials" Laboratory
Materials Science Research Institute
Far East Branch of Russian Academy of
Sciences
89242030609
E-mail: ximyxin@yandex.ru

Astapov Ivan Alexandrovich
Candidate of Technical Sciences Ma-
terials Science Research Institute
Far East Branch of Russian Academy
of Sciences
E-mail: vanchop@list.ru

Teslina Maria Alexandrovna
Candidate of Technical Sciences
Materials Science Research Insti-
tute
Far East Branch of Russian Acad-
emy of Sciences
E-mail: mari_teslina@mail.ru

Gostischev Vladimir Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences Mate-
rials Science Research Institute
Far East Branch of Russian Academy of
Sciences

Ri Hosen
Dr. of Technical Sciences, Professor
Head of "Foundry and Metal Tech-
nology" Chair
Honorable worker of science and edu-
cation of the Russian Federation
Pacific National University

Ri Ernest Hosenovich
Dr. of Technical Sciences, Profes-
sor
"Foundry and Metal Technology"
Chair
Pacific National University
E-mail: erikri999@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ПРИ ЗЕНКЕРОВАНИИ ОТВЕРСТИЯ В ПРОГРАММЕ COSMOS WORKS

Представлено моделирование припуска на обработку отверстия балок железнодорожных вагонов, главной и радиальной составляющих силы резания, а также упругих деформаций многогранных режущих пластин. Результаты моделирования необходимы для анализа процесса формирования геометрических погрешностей механической обработки.

Ключевые слова: припуск, отверстие, радиальная составляющая силы резания, главная составляющая силы резания, комбинированный зенкер, погрешность механической обработки.

В процессе эксплуатации железнодорожных вагонов их детали подвергаются интенсивному износу. В частности, диаметр отверстия под шкворневой палец наддрессорной балки увеличивается до критического значения, а его форма искажается, приобретая эллиптический профиль. Распространенный способ ремонта наддрессорной балки заключается в наплавлении металла на внутреннюю поверхность изношенного отверстия и бурта и последующей механической обработке. Существующий процесс ремонта балки выполняется путем наплавки и последующей механической обработки: растачивание отверстия и подрезание бурта. При этом обработка отверстия и бурта выполняется последовательно с обязательной сменой инструментов, характеризующихся малой жесткостью и незначительной суммарной длиной режущих лезвий, что является причиной низкой производительности процесса обработки и высокой технологической себестоимости изделия.

Авторами разработан комбинированный зенкер, позволяющий совместить обработку отверстия и бурта, что существенно сокращает время выполнения технологической операции и позволяет повысить производительность обработки наплавленных поверхностей наддрессорной балки. Комбинированный зенкер имеет восемь многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин – четыре для обработки отверстия и четыре для подрезания торца бурта. Наплавка металла, в целях восстановления отверстия и изношенной торцевой поверхности бурта, приводит к неравномерному распределению припуска по поверхности отверстия и плоскости бурта.

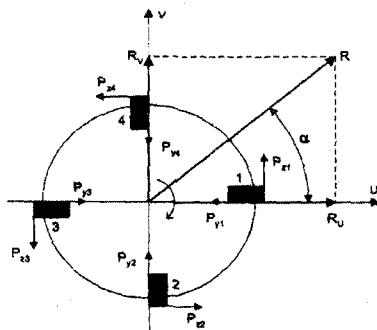


Рисунок 1 - Силы, действующие на режущие пластины инструмента

В процессе последующей механической обработки в текущий момент времени толщина стружки, снимаемой каждой режущей пластиной, различна, что приводит к изменению радиальной P_y , и главной P_z составляющих силы резания, действующих на режущую твердо-

сплавную пластину. Изменение внешней рабочей силовой нагрузки приводит к упругой деформации режущих пластин и возникновению геометрической погрешности обработанной поверхности. На предварительном этапе моделирования были найдены величины радиальной и главной составляющих силы резания $P_{y1}, P_{z1}, P_{y2}, P_{z2}, P_{y3}, P_{z3}, P_{y4}, P_{z4}$, действующих на каждую режущую пластину (рисунок 1), а также угловая координата α и модуль равнодействующей силы R в зависимости от времени обработки и заданного режима резания. Расчет упругих перемещений выполняли методом конечных элементов в программе *Cosmos Works* в статической нелинейной постановке. Силы, действующие на пластины, были заданы в зависимости от машинного времени обработки, при этом не учитывались резонансные явления, обусловленные собственными и вынужденными частотами колебаний инструмента, силы инерции и демпфирование в зоне обработки.

На рисунке 2 представлена расчетная модель зенкера с сеткой конечных элементов и граничными условиями. В качестве кинематических граничных условий было задано равенство нулю перемещения узлов сетки конечных элементов в направлениях X, Y и Z , находящихся на цилиндрической поверхности хвостовика зенкера, т.е. $U_x=0, U_y=0$ и $U_z=0$. Это граничное условие моделирует закрепление зенкера в патроне.

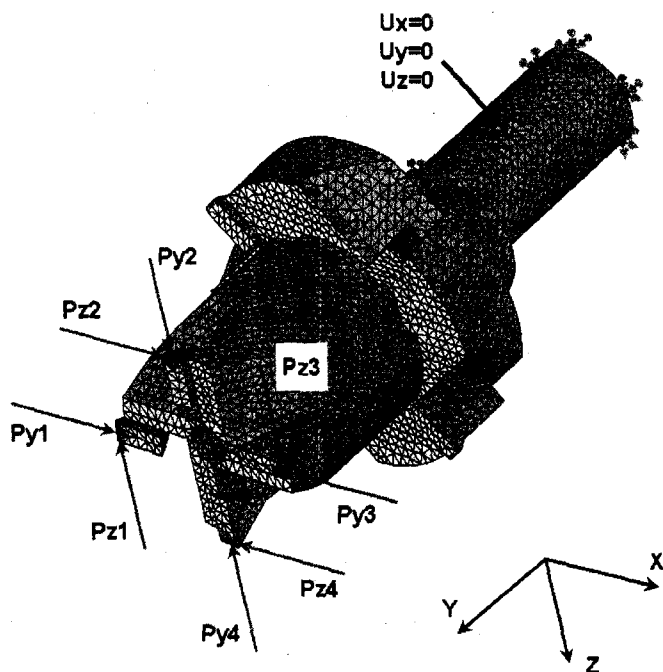


Рисунок 2 - Расчетная модель зенкера

В качестве статических граничных условий были заданы силы P_y и P_z , действующие на вершины режущих пластин. Для расчета был выбран отрезок времени, в течение которого зенкер совершает четверть оборота вокруг своей оси. Этому соответствует время расчета $\tau=0,3$ секунды, с шагом счета $0,0067$ с. Поскольку распределение толщины наплавленного металла по поверхности отверстия является стохастическим, то нагрузка на режущие пластины будет изменяться также случайным образом. Результаты расчетов сил $P_{y1}, P_{z1}, P_{y2}, P_{z2}, P_{y3}, P_{z3}, P_{y4}, P_{z4}$ для выбранного интервала времени τ , выполненных с учетом этого допущения, представлены на рисунках 3, а, б, из которых следует, что указанные силы изменяются не только для каждой режущей пластины, но и для угловой координаты α , то есть с течением времени зенкерования отверстия.

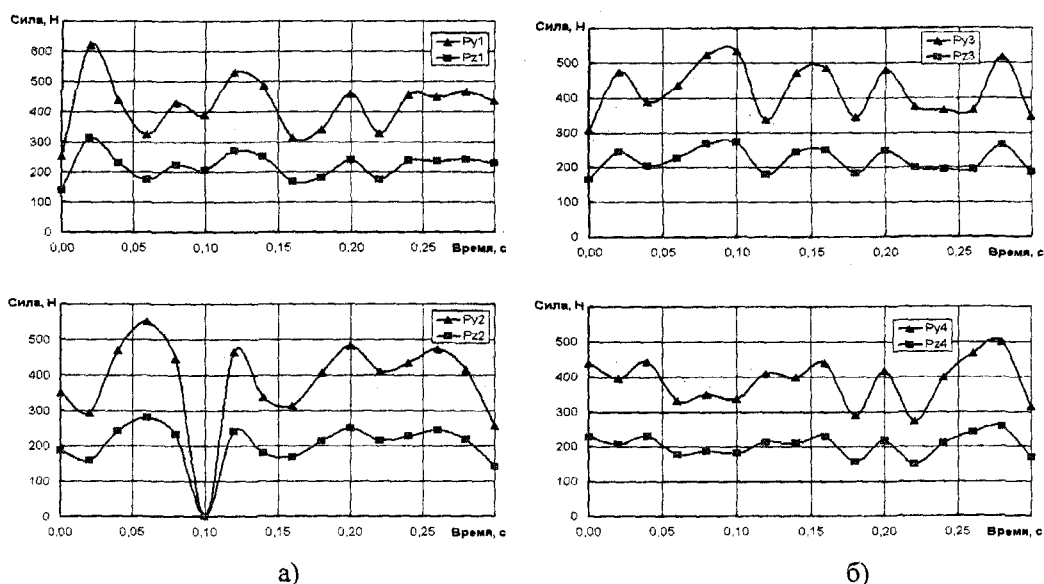


Рисунок 3 - Изменение сил резания, действующих в процессе зенкерования отверстия на пластины: а) – 1 и 2; б) – 3 и 4

Изменение упругих перемещений режущих пластин №1 – №4 в функции времени зенкерования отверстия под действием стохастической внешней нагрузки происходит в зависимости от величины снимаемого припуска.

Так, многогранная неплетачиваемая твердосплавная пластина №2 имеет максимальные скачки упругой деформации в интервале текущего времени обработки $\tau = 0,02 - 0,10$ с (рисунок 5), что хорошо коррелируется с изменением радиальной P_{y2} и главной P_{z2} , составляющих силы резания (рисунок 3, а). Представленный график перемещения вершины второй пластины, соответствует повороту комбинированного зенкера на 90° , при этом максимальное радиальное перемещение вершины режущей пластины составляет $0,013$ мм.

Перемещение вершины режущей пластины в радиальном направлении к обрабатываемой поверхности свидетельствует о формировании в процессе зенкерования геометрических погрешностей, величина которых ограничена половиной допуска на диаметр отверстия под шкворневой палец.

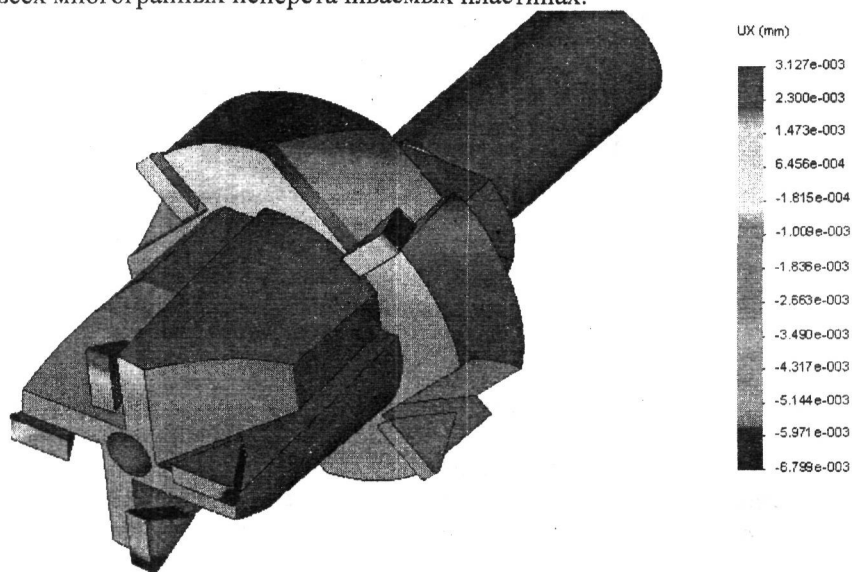
После моделирования припуска под зенкерование, создаваемого наплавлением твердого сплава на изношенные поверхности балки, расчета численных значений составляющих силы резания, величин упругих перемещений вершин каждой из пластин в перпендикулярном направлении к обрабатываемой поверхности возможно аналитическое рассмотрение процесса формообразования отверстия.

Если под действием сил P_{y1} , P_{z1} первая пластина получила упругую деформацию u_1 , то это не означает, что ось комбинированного зенкера также деформируется на эту же величину. Дело в том, что суммарная упругая деформация зенкера определяется не только численным значением равнодействующей силы резания R , но и внутренними реактивными силами самого режущего инструмента, обусловленными возникновением внутренних напряжений в корпусе и других деталях под действием внешней рабочей нагрузки.

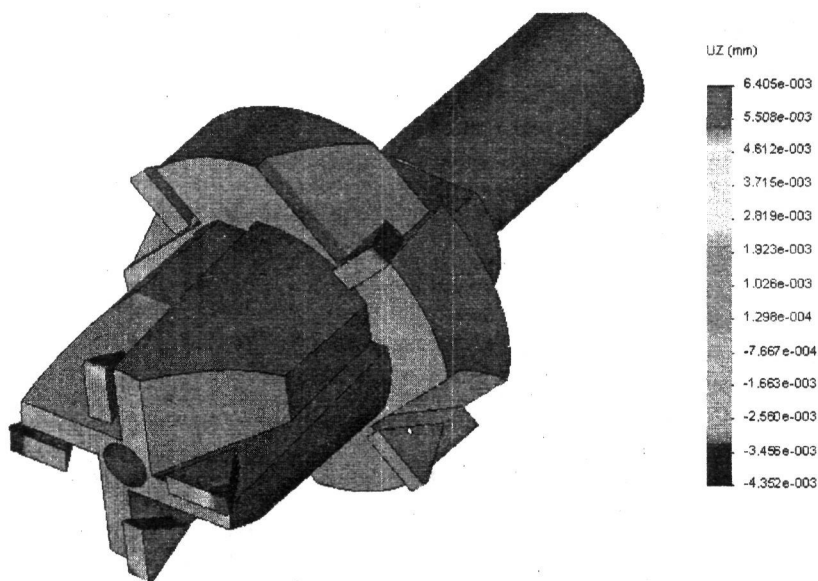
Упругие перемещения вершины каждой из режущих пластин взаимосвязаны. При этом, если одна пластина срезает бугор на наплавленной поверхности и на нее начинает действовать большая по величине сила резания, которая отжимает вершину от обрабатываемой поверхности, то противоположно расположенные пластины начинают врезаться в заготовку на дополнительную глубину, что приводит к возникновению противоположно направленной

радиальной силы, нивелирующей влияние срезаемого внезапно встретившегося наплавленного бугра.

Результирующее упругое перемещение инструмента будет меньше расчетного, поскольку любое дополнительное врезание какой-либо пластины в обрабатываемый материал заготовки автоматически компенсируется изменением глубины резания на других режущих пластинах. Более точные результаты расчета ожидаемых погрешностей обработанного отверстия можно получить с учетом не только жесткости самого режущего инструмента, но и жесткости зоны резания, учитывающей приращения составляющих силы резания одновременно на всех многогранных неперетачиваемых пластинах.



а)



б)

Рисунок 4 - Упругие перемещения режущих пластин:
а) – в направлении оси X; б) – в направлении оси Z

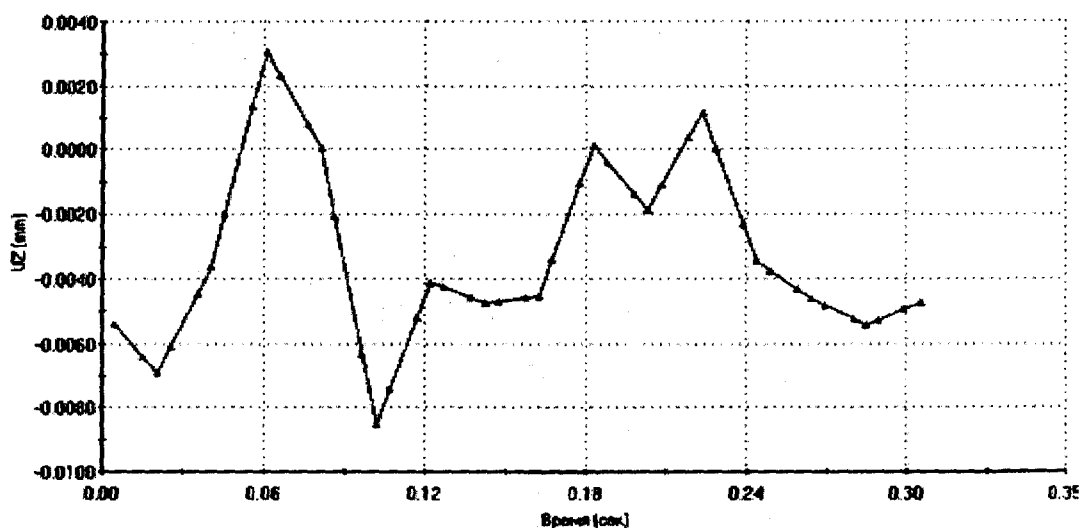


Рисунок 5 - Радиальное перемещение вершины режущей пластины № 2

Учет этой специфики необходим, но его явно недостаточно для адекватного аналитического описания обрабатываемой поверхности, поскольку стохастические микронеровности, формирующиеся при резании отдельно взятой пластиной, геометрически складываются в пространстве, образуя конечную геометрию зенкеруемого отверстия.

Моделирование упругих перемещений режущих пластин комбинированного зенкера в процессе обработки отверстия в условиях изменяющегося припуска и твердости заготовки является основой для детального анализа точности функционирования рассматриваемой технологической системы и прогнозирования ожидаемых погрешностей обработки отверстий надressорных балок.

В любом случае разработанный авторами комбинированный зенкер обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с пластинчатым инструментом, используемым в ремонтном производстве надressорных балок железнодорожных грузовых вагонов.

Последнее утверждение подтверждается результатами производственных испытаний предложенного инструмента в условиях научно-производственного объединения «Экспериментальный завод» (г. Реж, Свердловская область).

Результаты испытаний показали, что ресурс работы комбинированного зенкера выше ресурса использованного ранее инструмента в 10 – 12 раз, что явилось причиной внедрения комбинированного зенкера в серийное производство надressорных балок.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

Гусев Владимир Григорьевич
Доктор технических наук,
профессор
Владимирский государствен-
ный университет
Тел.: (4922) 54-47-35
E-mail: prof_gusev@mail.ru

Лазарев Александр Владимирович
Магистрант
Владимирский государственный
университет
Тел.: (4922) 479-924
E-mail: lazarev.delovoy@yandex.ru

Селиванов Александр Михайлович
Аспирант
Владимирский государственный уни-
верситет
Тел.: (4922) 479-924
E-mail: amselivanov@yandex.ru

ELASTIC DEFORMATIONS MODELLING OF CUTTING PLATES AT APERTURE MASHINIING IN PROGRAM COSMOS WORKS

Model results of an allowance change at aperture processing of railway cars beams, of the main and radial cutting force components, and also elastic deformations of many-sided cutting plates are presented. The model results are necessary for the analysis of geometrical errors formation in machining process.

Keywords: *an allowance, aperture, a radial cutting force component, a main cutting force component, geometrical errors, the combined vertical drill, machining process.*

Gusev Vladimir Grigorievich
Dr. Sc. Tech., the professor
The Vladimir state university
Ph.: (4922 54-47-35
E-mail: prof_gusev@mail.ru

Lazarev Alexander Vladimirovich
Master
The Vladimir state university
Ph.: (4922) 479-924
E-mail: lazarev.delovoy@yandex.ru

Selivanov Alexander Mihailovich
The post-graduate student
The Vladimir state university
Ph.: (4922) 479-924
E-mail: amselivanov@yandex.ru

УДК 519.688, 519.63, 539.375, 539.421

И.Е. ЕРМАКОВ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ПУТЁМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СЕТОЧНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

В статье анализируется характер физических процессов, протекающих в зоне гидроабразивной эрозии, и подходы к моделированию этих процессов. На основе выбранного метода моделирования – сеточно-характеристического – разработана вычислительная модель и программное обеспечение для твердотельного моделирования. Рассматривается задача двумерного моделирования соударения абсолютно твёрдого индентора с упругопластической преградой и результаты моделирования.

Ключевые слова: *гидроабразивное резание, гидроабразивная эрозия, высокоскоростное соударение, сеточно-характеристический метод.*

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей процесса гидроабразивного резания, создание его теории, усовершенствование технологии ведётся в Технологическом институте им. Н. Н. Поликарпова ГУ-УНПК. Вычислительное моделирование гидроабразивной эрозии материала позволит изучить закономерности протекания технологического процесса гидроабразивного резания, влияния состава и свойств компонентов абразивного порошка, создать оптимизационную модель подбора оптимальных режимов обработки на производстве. Гидроабразивное резание широко применяется на современном производстве для обработки самых разных материалов значительной толщины и структуры (керамики, композитов, металлов, камня, многослойных материалов), в частности, в оборонной и космической промышленности, где часто нет эффективной альтернативы данной технологии. Однако её использование в настоящее время основывается в основном на эмпирической теории. Актуальной является разработка моделей, обеспечивающих глубокое понимание процессов в зоне реза, обоснованный выбор режима резания, экономию ресурсов и производительность для производственных задач.

Характер изучаемых процессов не позволяет результативно использовать распространённые пакеты моделирования, основанные на методах конечных элементов, также как и применить стандартные методы сплошной среды. Это требует изучения передовых подходов

современной вычислительной механики и разработки собственного программного обеспечения для твердотельного моделирования.

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ЭРОЗИИ МАТЕРИАЛА

Технология гидроабразивного резания основана на эрозии обрабатываемого материала струёй воды, содержащей частицы абразивного порошка и истекающей из сопла установки со сверхзвуковой скоростью. Гидроабразивная струя оказывает ударное воздействие абразивных частиц на обрабатываемый материал, вызывая эрозию, эффект микромеханической обработки и разрушения под действием быстроизменяющегося поля местных напряжений. В результате поверхность взаимодействия представляет собой кратеры и царапины, а при некоторых условиях образуются навалы по краям канавок, которые при набегании следующих зёрен удаляются с поверхности. В зоне реза протекают сложные эрозионные процессы. Разрушение материала происходит в результате ряда эффектов: микрорезания, пластической деформации, хрупкого и усталостного разрушения.

Для полноценного моделирования подобных процессов метод и программный инструмент должны обеспечивать следующие возможности:

- 1) возможность моделирования динамических процессов в твёрдых средах;
- 2) моделирование процессов динамической деформации (упругой и неупругой) и распространения упругих волн в среде, с заданием различных начальных условий;
- 3) моделирование взаимодействия твёрдых тел произвольной сложной формы (в том числе с полостями);
- 4) моделирование процессов трещинообразования и разрушения материала при высокоскоростных (гиперзвуковых) взаимодействиях;
- 5) работа с материалами сложной структуры, в том числе твёрдыми растворами, пористыми материалами (микро- и макропоры, дефекты в твёрдой среде).

С математической точки зрения эти процессы высокоскоростного соударения и разрушения описываются физически и геометрически нелинейными гиперболическими системами уравнений механики сплошной среды. Аналитическое решение этих систем осложняется множеством контактных разрывов, свободных границ, ударных и детонационных волн, меняющихся участков контакта взаимодействующих тел и возможно только в частных, упрощенных случаях. Поэтому основным инструментом решения динамических задач являются численные методы.

ВЫБОР МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Абстракция сплошной среды предполагает описание состояния тела непрерывными дифференциальными уравнениями. Имеется широкий выбор численных методов для моделирования сплошной твёрдой среды. Первая их разновидность предполагает решение дифференциальных уравнений, описывающих механику среды, на дискретной сетке, с переходом к системам алгебраических уравнений: это методы конечных разностей, конечных объёмов, различные их модификации. Часто требуются сложные адаптации этих методов, поскольку исходные дают значительные расхождения с реальным протеканием моделируемых процессов. Методы второй разновидности — вариационные и проекционные (например, метод конечных элементов, МКЭ) — предполагают аппроксимацию решения совокупностью базисных функций, которые определены на подобластях области решения.

Распространённые универсальные пакеты твердотельного моделирования (подобные ANSYS Structural) основаны на модификациях метода конечных элементов. По мнению некоторых отечественных математиков и инженеров-прочнистов [6], применение универсальных конечно-элементных пакетов является причиной участвовавших катастроф. Данная проблема носит принципиальный характер: решение краевых задач методом конечных элементов расходится с точным решением при измельчении сетки, обусловленность разрешающей системы метода конечных элементов ухудшается пропорционально квадрату уменьшения

размеров элемента. В силу этого сложные задачи твердотельного моделирования требуют специальной модификации разностных методов.

При моделировании высокоскоростного столкновения твёрдых тел особого подхода требует моделирование процессов на границах тел, в области их контакта. В сеточных методах это требует применения сложных алгоритмов перестройки сеток. Также при столкновении тел в их среде происходит распространение ударных волн. Это требует адекватного моделирования волновых процессов в твёрдой среде. Авторы работ [1] и [2] применяют различные модификации сеточных разностных методов. Работа [2] опирается на семейство так называемых сеточно-характеристических численных методов [3, 4]. Эти методы, разработанные изначально для задач газодинамики, достаточно эффективны для решения тех задач, которые требуют учёта волновых процессов в сплошной среде.

В своём исследовании, после предварительного анализа различных подходов [5], мы использовали именно сеточно-характеристический подход к моделированию.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРА ТВЁРДОГО ИНДЕНТОРА ПО ПЛИТЕ

В качестве первого опыта применения сеточно-характеристического метода и нашей программной системы мы взяли достаточно простую задачу: моделирование удара абсолютно твёрдого индентора круглой формы по упругопластической преграде (плите), рассматриваемую в плоской постановке. Решение данной задачи, во-первых, позволяет сопоставить результаты моделирования с использованием сеточно-характеристического метода с результатами, полученными на основе других известных моделей и пакетов моделирования; а во-вторых, показывает некоторые аспекты высокоскоростного взаимодействия частицы с преградой, которые будут иметь место и в случае гидроабразивной эрозии.

Рассмотрим прямоугольную плиту, находящуюся вначале в недеформированном (ненапряжённом) состоянии. Будем моделировать удар по верхней границе абсолютно твёрдым плоским индентором, ударяющим под углом 90 градусов. Примем в качестве граничных условий равенство нулю скоростей всех точек на нижней и торцевых границах плиты (то есть будем считать эти границы достаточно удалёнными от зоны соударения). Удар абсолютно твёрдого индентора может быть смоделирован заданием начального условия для скоростей всех точек на верхней границе плиты в зоне удара. Таким образом, моделируется система из одной плиты, с наложением соответствующих начальных и граничных условий.

Система уравнений динамики деформируемого твёрдого тела в произвольной системе координат выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \rho \dot{v}_i = \nabla_j \sigma_{ij} \\ \dot{\sigma}_{ij} = q_{ijkl} \dot{\varepsilon}_{kl} + F_{ij} \end{cases}$$

Здесь ρ - плотность среды, v_i - компоненты скорости смещения, σ_{ij} - компоненты тензора напряжения, ε_{kl} - компоненты тензора деформации, ∇_j - ковариантная производная, F_{ij} - добавочная правая часть. Вид компонент тензора 4-го порядка q_{ijkl} определяется реологией среды. Для линейно упругого тела:

$$q_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{jk} \delta_{il}),$$

где δ_{ij} - символ Кронеккера, λ, μ - параметры Ламе.

В упругопластической среде пластичные эффекты начинают проявляться в состоянии, определяемом условием пластичности Мизеса-Шлейхера:

$$S = S_{11}^2 + S_{22}^2 + S_{33}^2 + 2S_{12}^2 \geq 2k^2,$$

$$\text{где } S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sum_{j=3} \sigma_{jj}$$

При выполнении условия пластичности в системе уравнений динамики возникает добавочная правая часть, для модели вязкоупругой среды со временем релаксации τ_0 :

$$F_{ij} = -\frac{S_{ij}}{\tau_0}$$

При использовании модели Кукуджанова упруговязкопластической среды возникает добавочная правая часть:

$$F_{ij} = -\frac{z}{\tau_0 \sqrt{s_{ij} s_{ij}}} 2\mu s_{ij}, \quad z = \sqrt{\sqrt{s_{ij} s_{ij}} - \sqrt{2}k}$$

Плотность среды:
$$\ln \frac{\rho}{\rho_0} = -\frac{1}{3K} \sum_{i=3} \sigma_{ii}$$

Перечисленные модели допускают векторно-матричную запись системы уравнений:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \tilde{A}_1 \frac{\partial \bar{u}}{\partial x_1} + \tilde{A}_2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial x_2} = f$$

Где $\bar{u} = (v_1, v_2, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{22}, \sigma_{33})$ - вектор искомых функций; f - вектор правых частей той же размерности; $\tilde{A}_i$ - матрицы размером 6×6 , имеющие вид, описанный в [3]; x_i - независимые пространственные переменные; t - время.

Для случая прямолинейной декартовой системы координат компоненты вектора f можно записать в виде: $f_{1,2} = M \frac{dV_{1,2}}{dt}$, где M - масса индентора, остальные компоненты вектора f равны нулю.

Для учёта конечных деформаций и перемещений вводится подвижная система координат $\xi = \xi^1, \eta = \xi^2, \zeta = \xi^3$, связанная с исходной некоторыми интегральными соотношениями, которые мы здесь приводить не будем. Вводится матрица Якоби преобразования между системами координат. После такого преобразования система уравнений приобретает вид:

$$u_i + A_1 u_\xi + A_2 u_\eta = f$$

Где матрицы A_i получаются преобразованием матриц $\tilde{A}_i$.

Решение можно производить в одной из трёх систем координат: традиционной лагранжевой, подвижной эйлеровой, связанной с движением границ области интегрирования, или их комбинации, при которой по одному из направлений используются лагранжевы, а по другому - эйлеровы координаты.

Мы будем использовать простую лагранжеву систему координат.

В этом случае координаты узловых точек $x_{1ml}^{n+1}, x_{2ml}^{n+1}$ равномерной в системе координат ξ, η разностной сетки

$$\xi_m = mh_1, \quad m = 0, 1, \dots, M$$

$$\eta_l = lh_2, \quad l = 0, 1, \dots, L$$

Расчёт перемещений в узлах сетки за один временной шаг τ определяется формулами:

$$x_{1ml}^{n+1} = x_{1ml}^n + \tau c_{1ml}^n$$

$$x_{2ml}^{n+1} = x_{2ml}^n + \tau c_{2ml}^n$$

После расчёта перемещений необходимо выполнить пересчёт всех компонентов вектора u из нашей системы матричных уравнений. Мы применяем формулы явной схемы точно-характеристического метода.

Для внутренних точек области интегрирования шаг рассчитывается по формуле:

$$u_{ml}^{n+1} = u_{ml}^n + \tau f_{ml}^n + b_{1ml}^n + b_{2ml}^n, \bar{u} + (\Omega^{-1} \Lambda \Omega) \frac{\partial \bar{u}}{\partial \xi} = 0,$$

где

$$b_{1ml}^n = \tau \left[(\Omega_1^{-1} \Lambda_1^+ \Omega_1)^n_{ml} \frac{(u_{m-1,l}^n - u_{ml}^n)}{h_1} - (\Omega_1^{-1} \Lambda_1^- \Omega_1)^n_{ml} \frac{(u_{m+1,l}^n - u_{ml}^n)}{h_1} \right]$$

$$b_{2ml}^n = \tau \left[(\Omega_2^{-1} \Lambda_2^+ \Omega_2)^n_{ml} \frac{(u_{m,l-1}^n - u_{ml}^n)}{h_2} - (\Omega_2^{-1} \Lambda_2^- \Omega_2)^n_{ml} \frac{(u_{m,l+1}^n - u_{ml}^n)}{h_2} \right]$$

$$\Lambda_j^+ = \frac{\Lambda_j + |\Lambda_j|}{2}, \quad \Lambda_j^- = \frac{\Lambda_j - |\Lambda_j|}{2}$$

$$\Lambda_j = \{\lambda_j'\}, \quad |\Lambda_j| = \{|\lambda_j'|\},$$

определяемые из характеристических уравнений

$$\text{Det}(A_j - \lambda' E) = 0$$

$$\Omega_j = \{\tilde{\omega}_{ik}^j\}$$

- несобственные матрицы, определяемые с точностью до их длины из совокупности линейных однородных систем уравнений.

Расчёт для точек на границе области интегрирования выполняется особым образом.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УДАРА ТВЁРДОГО ИНДЕНТОРА ПО ПЛИТЕ

Программное обеспечение, разработанное нами, реализует моделирование на основе математической модели, обзор которой представлен выше. Моделирование проводится для правой половины осесимметричной задачи. Были промоделированы случаи сплошной преграды и преграды с различной перфорацией. Система строит карты распределения деформаций и компонент тензора напряжения. Ниже приведены такие карты (рисунки 1-5) для одного из промежуточных моментов взаимодействия индентора с преградой.

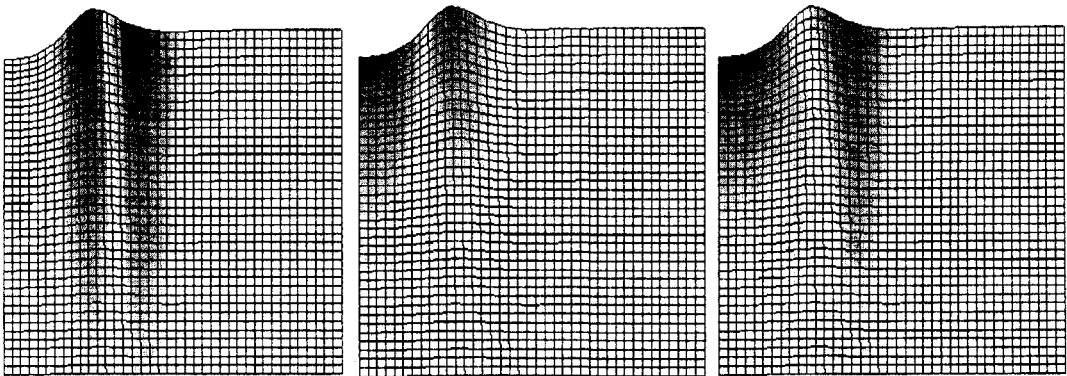


Рисунок 1 – Распределение компонент тензора деформаций (xx, yy, xy) в монолитной преграде

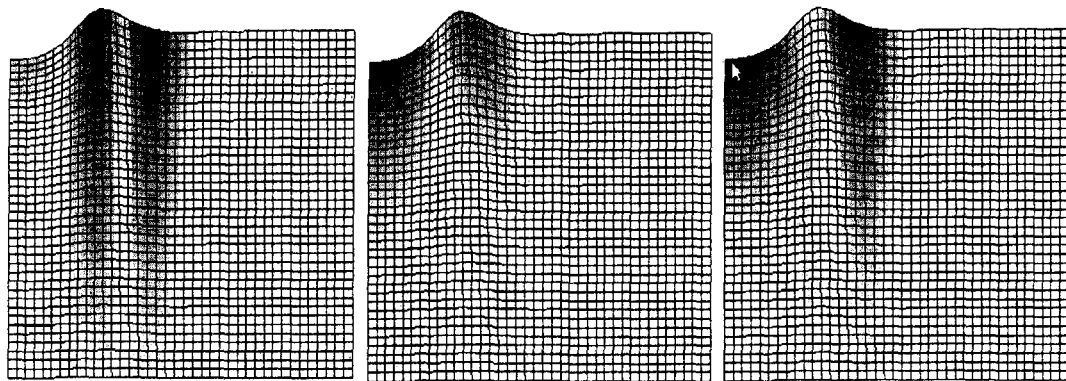


Рисунок 2 – Распределение компонент тензора напряжений (xx , yy , xy) в монолитной преграде

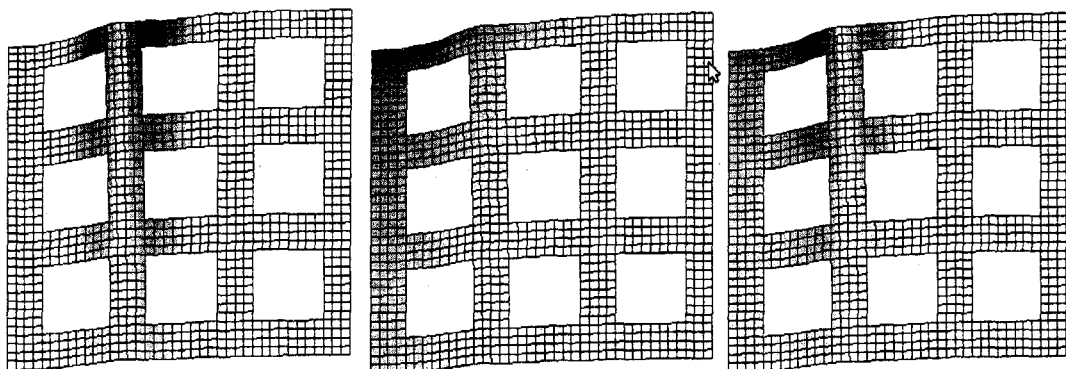


Рисунок 3 – Распределение компонент тензора деформаций (xx , yy , xy) в перфорированной преграде

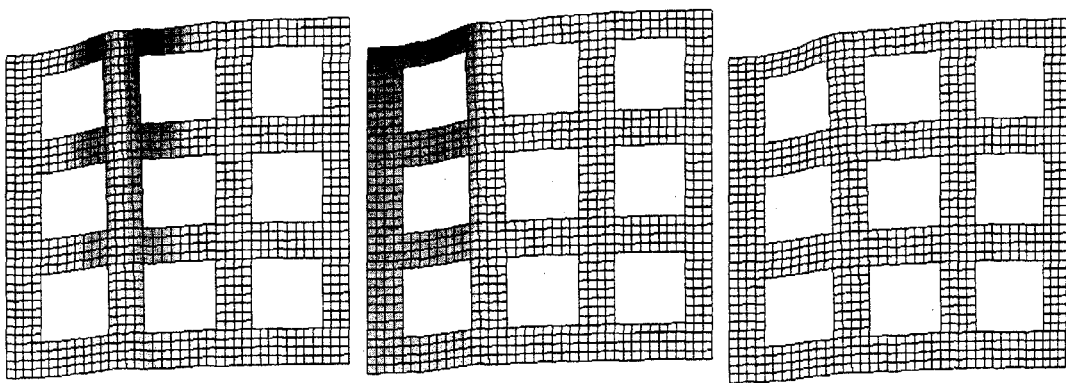


Рисунок 4 – Распределение компонент тензора напряжений в перфорированной преграде

Широко известно, что в однородной изотропной среде фронты волн от точечного источника имеют сферическую форму. В перфорированной конструкции с большим количеством полостей форма фронтов возмущения существенно меняется. При наличии даже нескольких полостей в теле упругие волны многократно отражаются от границы каждой из полостей, а результирующая картина формируется интерференцией всех отражений.

ВЫВОД

Характер изучаемых процессов гидроабразивной эрозии не позволяет применить стандартные пакеты твердотельного моделирования, что потребовало применения современных методов вычислительной механики и разработки программного обеспечения на их основе.

ж. Был применён сеточно-характеристический метод моделирования сплошной среды. Разработанное программное обеспечение позволило приступить к изучению динамики процессов высокоскоростной деформации.

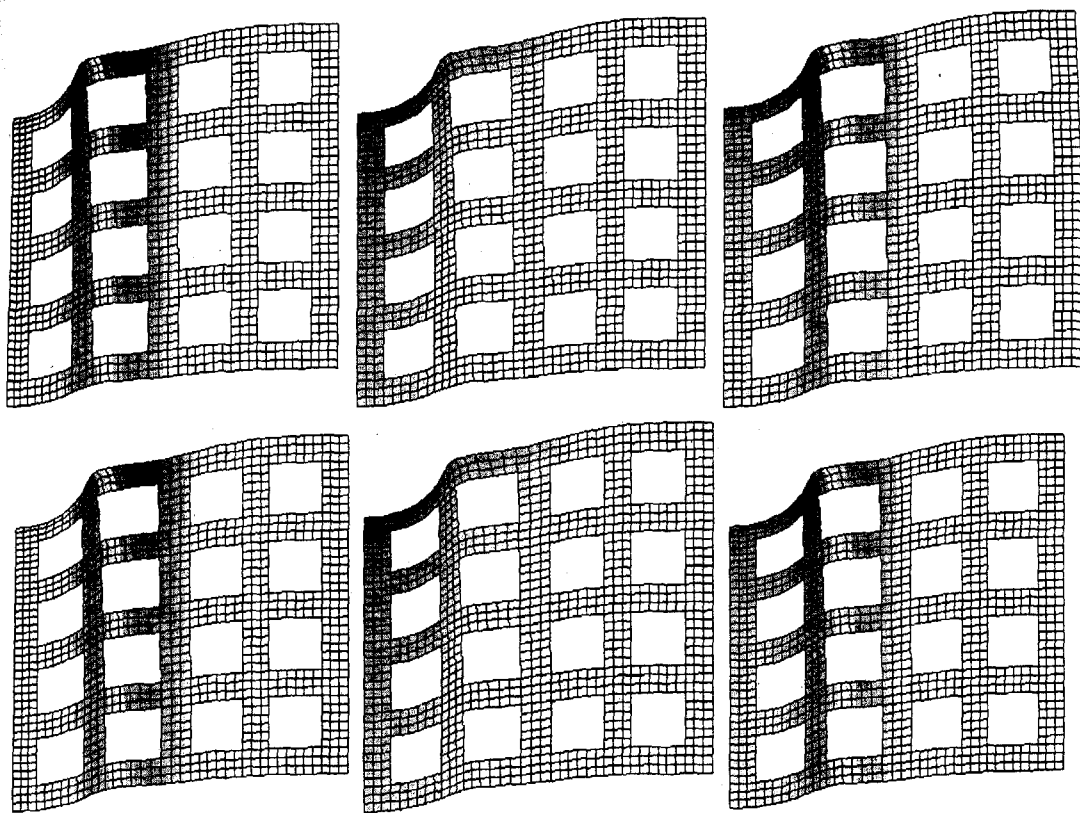


Рисунок 5 – Распределение напряжений и деформаций в сильнодеформированной перфорированной преграде

Была поставлена задача двумерного моделирования столкновения абсолютно твёрдого индентора с упругопластической преградой и проведено её моделирование. Планируется сравнение полученных с результатами моделирования данной задачи в других инструментах твердотельного моделирования. Проводится интерпретация этих результатов, с выделением аспектов, распространяющихся на процесс гидроабразивной эрозии.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические и экспериментальные исследования высокоскоростного взаимодействия тел [Текст] / под ред. А.В. Герасимова. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. — 572 с.
2. Челноков, Ф.Б. Численное моделирование деформационных динамических процессов в средах со сложной структурой [Текст] / Ф.Б. Челноков. — Диссертация по спец. 05.13.18. — М.: МФТИ, 2005. — 251 с.
3. Магомедов, К.М. Сеточно-характеристические численные методы [Текст] / К.М. Магомедов, А.Г. Холодов. Отв. ред. акад. О.М. Белоцерковский. — М.: Наука, 1988. — 290 с.
4. Иванов, В.Д. Сеточно-характеристический метод расчёта динамического деформирования на нерегулярных сетках [Текст] / В.Д. Иванов, И.Б. Петров, А.Г. Тормасов, А.С. Холодов, Р.А. Пашутин // Математическое моделирование. — 1999. — Т. 11, №7. — С. 118-127.

5. Ермаков, И. Е. Подходы к моделированию высокоскоростного удара твёрдой частицы по твёрдой преграде, для задачи повышения эффективности гидроабразивного резания [Текст] / И. Е. Ермаков // Эффективность и качество в машиностроении и приборостроении: Материалы первой региональной научно-технической конференции. – Карачев: Карачевский филиал ОрёлГТУ, 23-25.09.11. - С. 89-91

6. Петров, Ю. П. Обеспечение достоверности и надёжности компьютерных расчётов [Текст] / Ю. П. Петров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012 — 160 с.

Ермаков Илья Евгеньевич

Казённое учреждение Орловской области «Региональный центр оценки качества образования»

Зам. директора, начальник отдела ИКТ

Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова ФГОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК», г. Орёл

Аспирант, преподаватель

Тел.: (4862) 43-25-96

E-mail: ilya@ermakov.net.ru

I.E. ERMAKOV

INVESTIGATION OF A HYDRO-ABRASIVE EROSION BY MODELING BASED ON GRID-CHARACTERISTIC NUMERICAL METHODS

There is analyzed nature of physical processes in a zone of hydro-abrasive erosion and an approach to model this processes. Selected modeling method is grid-characteristic method. We have developed computational model and software for solid modeling. There is examined a problem of plain modeling of high-speed encounter absolutely solid indenter with elastoplastic barrier. Modeling results are presented.

Keywords: *hydro-abrasive erosion, high-speed encounter, grid-characteristic method.*

BIBLIOGRAPHY

- [1] Theoretical and Experimental Investigation of a High-speed Encounter Between Solids [Text] / Edited by A. V. Gerasimov. — Tomsk: TGU, 2007. — 572 p.
- [2] Chelnokov, F. B. Numerical Modeling of Deformation Processes in Complex-structured Mediums [Text] / F. B. Chelnokov. — Diss. — Moscow.: MFTI, 2005. — 251 p.
- [3] Magomedov, K. M. Grid-characteristic Numerical Methods [Text] / K. M. Magomedov, A. G. Holodov. Edited by O. M. Belotserkovsky. — M.: Nauka, 1988. — 290 p.
- [4] Ivanov, V. D. Grid-characteristic Numerical Method for a Calculation of Dynamic Deformation on Irregular Grids [Text] / V. D. Ivanov, I. B. Petrov, A. G. Tormasov, A. S. Holodov, R. A. Pashutin // Mathematical Modeling. — 1999. — B. 11, №7. — Pp. 118-127.
- [5] Ermakov, I.E. Approaches for Modeling High-Speed Encounter Between Solid Grain and Solid Barrier, to Increasing Performance of Hydro-abrasive Erosion [Text] / I. E. Ermakov // Performance and Quality at Machinery and Instrumentation: Materials of first regional science-technical conference. — Karachev: OSTU, 23-25.09.11. Pp. 89-91
- [6] Petrov, Y. P. Guarantees for reliability and trustability in computations [Text] / Y. P. Petrov. — St.Pb.: BHV, 2012 — 160 p.

Ermakov Ilya Evgenievich

State Institution of Orel Region "Regional centre of education's quality control"

Vice director

Polykarpov Institute of Technology at State University – UNPK, Russia, Orel

Lecturer

E-mail: ilya@ermakov.net.ru

С.В. КИРИЛИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье предложен алгоритм управления в автоматизированных информационно-измерительных системах коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Алгоритм реализован в виде программного комплекса, включающего в себя двухуровневую обработку информации для достижения общего оптимального результата достоверизации данных.

Ключевые слова: система автоматического управления, системный анализ, сложная система, оптимизация, учет электроэнергии, энергобаланс.

В настоящее время в энергокомпаниях основным способом обнаружения недостоверности в данных АИИС КУЭ является процедура достоверизации данных, т.е. анализ полученных с объектов измерения данных и их оценка различными методиками, в основном балансовым методом. В данной работе выдвигается идея обнаружения наиболее грубых ошибок в результатах измерения с помощью расчетных фильтров, т.е. фактически определение результата измерения «до» момента получения самого результата измерения.

Целью исследования является разработка методов интеллектуальной обработки измерительной информации, разработка основанного на обработке информации, с применением комплексного подхода к автоматическому выявлению аномальных ситуаций, возникающих в процессе функционирования системы. В статье предлагается и исследуется алгоритм действий при неполной информации о состоянии объекта. Под неполной информацией о состоянии объекта понимается отсутствие доступа к части измерений и/или некоторый объем недостоверных измерений.

Для эффективного управления информационной системой обработки данных АИИС КУЭ необходимо располагать по возможности точной информацией о параметрах, характеризующих объект измерения (т.е. режимах работы энергосистемы и основного электрооборудования). Здесь принцип простой, чем больше и точнее информация об измеряемом объекте, тем лучше, в такой ситуации никакие дополнительные расчеты не требуются, однако такая идеальная ситуация бывает не всегда.

Классические методы управления хорошо работают при детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления. Нечеткая логика является развитием классической логики. Классическая, или булева, логика оперирует только двумя понятиями – истина и ложь, исключая любые промежуточные значения. В последнее время нечеткая технология завоевывает все больше сторонников среди разработчиков систем управления. Диапазон применения нечетких систем управления весьма широк – от бытовых приборов до сложных промышленных процессов. Тенденция распространения нечетких систем управления легко объяснима. Многие современные задачи управления, которые не могут быть решены классическими методами из-за большой сложности математических моделей, описывающих процессы, неопределенности целей управления и ограничений, успешно решаются средствами нечеткой логики. Принятие решения – это выбор альтернативы, которая одновременно удовлетворяет и нечетким целям, и нечетким ограничениям. В этом смысле цели и ограничения являются симметричными относительно решения, что стирает различия между ними и позволяет представить решение как слияние нечетких целей и ограничений.

При принятии решений по схеме Беллмана – Заде не делается никакого различия между целью и ограничениями. Всякое разделение на цель и ограничения является условным. В традиционной теории принятия решений подобные замены функции предпочтения на ограничение недопустимы. Однако и там прослеживается некоторое скрытое сходство между целями и ограничениями. Оно становится явным при использовании метода неопределенных множителей Лагранжа и штрафных функций, когда цель и ограничения объединяются в одну функцию [1]. В качестве решения в таких случаях обычно выбирают альтернативу с максимальной степенью принадлежности.

Представим структуру системы АИИС КУЭ в виде блок-схемы. U_1, I_1 – это реальные величины напряжения и тока в точке измерения (ВЛ, КЛ и т.д.) U'_1, I'_1 – величины тока и напряжения, полученные после измерительных трансформаторов, W_{a1}, W_{r1} – рассчитанные счетчиком электроэнергии значения активной/реактивной мощности I_1 – множество информации по объекту измерения (подстанции, станции и т.п.) в т.ч. данные учета, состояние элементов системы, журнал событий и т.д.

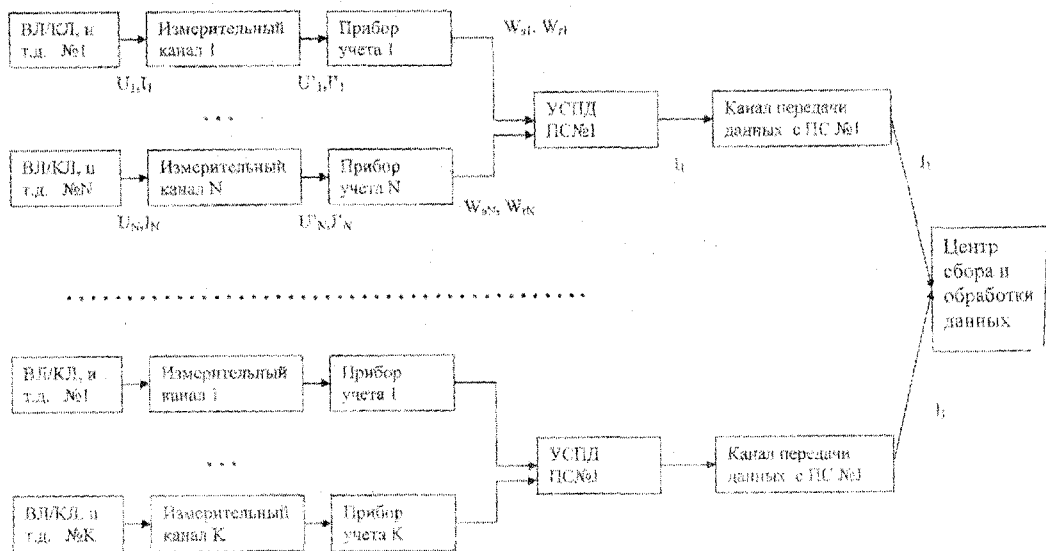


Рисунок 1 - Структурная схема АИИС КУЭ

На современном этапе процесс сбора и обработки данных АИИС КУЭ, с использованием цифровых электросчетчиков, цифровых каналов, дублирования на каждом этапе от сбора до передачи результатов измерения в центр сбора и обработки данных, как правило автоматизирован и происходит практически без участия человека. В то же время в процессе достоверизации данных роль человека исключительно велика. Введение же дополнительной фильтрации, с использованием дополнительной информации об отдельных ветвях и узлах объекта, параметрах работы объекта измерения позволит формализовать работу оператора отвечающего за достоверизацию данных АИИС КУЭ.

Риск неопределенности результата измерения, или риск коммерческого учета – эти понятия вытекают из вероятностного характера измерений, характеризующихся той или иной функцией распределения вероятности под влиянием случайных и не исключенных систематических погрешностей. Для практического применения необходимо определить: в чем состоит событие, вероятность события, стоимость последствий. Так при выполнении каких бы то ни было измерений – событие состоит в получении показания прибора (математического ожидания) и его погрешностью. Причем при прямых однократных измерениях, к которым относится измерение приращения электроэнергии, неопределенность полностью уст

навивается показанием прибора при заданной погрешности $\pm \Delta$ и ее достоверной вероятности.

Пусть имеется некоторый результат измерения $P^{an}(k)$ параметра P в заданный момент k . Предположим результат данного измерения можно рассчитать через значения результатов других, влияющих параметров несколькими способами, т.е. существует возможность получить совокупность некоторых оценок данного параметра $P^p_1(k)$, $P^p_2(k)$, $P^p_n(k)$. Для идеального случая, когда все результаты измерений не содержат ошибок, данные получены со всех точек измерения в полном объеме, полученные значения должны быть близки друг другу, однако на практике это не так. Применяв принцип обнаружения значения, выпадающего из общей совокупности, можно определить элемент, содержащий ошибку.

Рассмотрим предварительное обнаружение грубых ошибок в результатах измерения на примере измерения перетока электроэнергии по некоторой линии электропередач. В этом случае исходные для локальной обработки данных является следующее множество данных с учетом структурной схемы АИИС КУЭ (рисунок 1):

$$W = \{ \{ W_{нач} \}, \{ W_{кон} \} \} = \{ P^{au}_{i-j}, Q^{au}_{i-j}, I^{au}_{i-j}, U^{au}_i, P^{au}_{j-i}, Q^{au}_{j-i}, I^{au}_{j-i}, U^{au}_j \} \quad (1)$$

Функциональный статический фильтр позволяет обнаруживать аномальные выбросы в результатах измерений, исходя из полученных значений анализируемой функции передачи и распределения мощности с учетом потерь электроэнергии.

$$F_1 = \Delta P(P^{au}_{i-j}, Q^{au}_{i-j}, U^{au}_i) = \frac{(P'_{i-j})^2 + (Q'_{i-j})^2}{(U^{au}_i)^2} \cdot R, \quad (2)$$

$$F_2 = \Delta P(P^{au}_{j-i}, Q^{au}_{j-i}, U^{au}_j) = \frac{(P'_{j-i})^2 + (Q'_{j-i})^2}{(U^{au}_j)^2} \cdot R, \quad (3)$$

$$F_3 = \Delta P(Q^{au}_{i-j}, Q^{au}_{j-i}) = \frac{(Q'_{i-j}) - (Q'_{j-i})}{X} \cdot R \quad (4)$$

$$F_4 = \Delta P(P^{au}_{i-j}, P^{au}_{j-i}) = P'_{i-j} - P'_{j-i} \quad (5)$$

$$F_5 = \Delta P(U^{au}_i, U^{au}_j, \delta^{au}_{ij}) = \frac{(U^{au}_i)^2 + (U^{au}_j)^2 - 2U^{au}_i U^{au}_j \cdot \cos \delta^p_{ij}}{Z^2} \cdot R \quad (6)$$

Обнаружение аномального значения измерения основано на том факте, что результаты измерения входят в выражения только для некоторых функций (в нашем примере для расчета F_1 и F_4). Следовательно, те значения функций, которые значительно отличаются от оставшихся значений, однозначным образом определяют значение, измерений АИИС КУЭ которые содержат недостоверные данные. Результаты расчетов показали, что данный метод имеет существенный недостаток, а именно различная чувствительность функций $F_1, \dots, F_5$ к различным ошибкам в различных результатах измерений.

При этом предложенный алгоритм имеет ограничение в использовании, для его применения должен соблюдаться критерий наблюдаемости системы. Система является наблюдаемой на отрезке (t_0, t_1) , если ее начальное состояние $X(t_0)$ может быть определено по известному на отрезке (t_0, t_1) значению функций выхода $Y(t)$. Не забывая при этом о двойственности управляемости и наблюдаемости системы установленный Р.Кальманом. Из полной наблюдаемости системы следует ее полная наблюдаемость, а из полной наблюдаемости системы следует ее полная управляемость.[2]

Дополнительным фильтром является методика расчета результатов измерений несколькими способами, к примеру, один из которых заключается в решении квадратичного уравнения, причем в качестве неизвестных выступают значения перетоков активной и реактивной мощности. Таким образом мы получаем, что у нас один и тот же результат измерения входит в несколько расчетных выражений, для которых характерна различная чувствительность к ошибке. Поэтому в результате проведения анализа этому измерению может быть присвоен статус ошибочного или подозрительного значения, в зависимости от того, какое элементарное множество анализируется.

Для каждого оцениваемого параметра записывается несколько независимых функций, каждая из которых получается в результате расчета на основании результатов других измерений. Составим простейший алгоритм действий по выверке результатов измерений.

$$P^1_{i-j} = P^{au}_{i-j}, \quad (7)$$

$$P^2_{i-j} = P^{au}_{i-j} + \Delta P_{cp} + (U^{au}_i)^2 \cdot G_{ш} + (U^{au}_j)^2 \cdot G_{ш}, \quad (8)$$

$$P^3_{i-j} = \sqrt{\frac{(U^{au}_{i-j})^2 \times (Q^1_{i-j} - Q^1_{j-i})}{X} - (Q^1_{i-j})^2 + (U^{au}_i)^2 \cdot G_{ш}}, \quad (9)$$

где
$$\Delta P_{cp} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{(P^1_{i-j})^2 + (Q^1_{i-j})^2}{(U^{au}_i)^2} \cdot R + \frac{(P^1_{j-i})^2 + (Q^1_{j-i})^2}{(U^{au}_j)^2} \cdot R \right). \quad (10)$$

Соответственно принимается следующее решение:

1) Если P^1_{i-j} значительно отличается от совокупности двух других расчетных результатов измерений, то такое значение P^{au}_{i-j} признается недостоверным и ему присваивается соответствующий признак и предлагается заменить его расчетным значением:

$$P^{au}_{i-j} = \frac{(P^2_{i-j} + P^3_{i-j})}{2}; \quad (11)$$

2) Если P^2_{i-j} значительно отличается от совокупности двух других расчетных результатов измерений, то такое значение P^{au}_{i-j} признается недостоверным и ему присваивается соответствующий признак и предлагается заменить его расчетным значением:

$$P^{au}_{j-i} = P^{au}_{i-j} - \Delta P_{cp} - (U^{au}_i)^2 \cdot G_{ш} - (U^{au}_j)^2 \cdot G_{ш}; \quad (12)$$

3) Если P^3_{i-j} значительно отличается от совокупности двух других расчетных результатов измерений, то такое значение P^{au}_i рассматривается как подозрительное и ему присваивается соответствующий признак. Т.е. в данном случае требуется определить какое именно из подозрительных измерений является ошибочным. Для этого дополнительно учитываются результаты измерений реактивной мощности в тех же самых точках измерения.

$$Q^1_{i-j} = Q^{au}_{i-j}, \quad (13)$$

$$Q^2_{i-j} = \frac{(U^{au}_i)^2 - U^{au}_i \cdot U^{au}_j \cdot \cos \delta^p_{ij} - P^1_{i-j} \cdot R}{X} + (U^{au}_i)^2 \cdot B_{ш}, \quad (14)$$

$$Q^1_{j-i} = Q^{au}_{j-i}, \quad (15)$$

$$Q^2_{j-i} = \frac{-(U^{au}_j)^2 + U^{au}_i \cdot U^{au}_j \cdot \cos \delta^p_{ij} - P^1_{j-i} \cdot R}{X} + (U^{au}_j)^2 \cdot B_{ш} \quad (16)$$

Далее, для логического алгоритма анализируются расчетные значения, полученные в (13), (14), (15) и (16), что позволяет выявить ошибку в результатах измерений, полученных от АИИС КУЭ.

Если в рассматриваемом примере имеются дополнительные источники информации (датчики ТИ, данные технического учета и т.п.), обладающие меньшей точностью измерений, то данные результаты измерений могут быть также учтены в предложенном алгоритме, что повышает количество операций проверки и позволяет повысить достоверность измерений.

В представленной схеме учитываются также результаты измерений, получаемые от соседних систем АИИС КУЭ, при этом каждому результату измерений присваивается дополнительный признак, зависящий от класса качества той системы АИИС КУЭ от которой он получен.

После проведения проверки наиболее критических для энергосистемы значений результатов измерений (к каковым относятся результаты измерений полученных от источников выработки электроэнергии и от пограничных с другими энергосистемами элементов сети), появляется возможность использования балансового метода достоверизации результатов измерений. Балансовый метод, основан на законе Кирхгофа, и широко и повсеместно исполь-

зуется для достоверизации результатов измерения, поэтому в статье не будем подробно останавливаться на данной методике, т.к. она (методика) хорошо изучена, оговоримся лишь о том, что в данной модели алгоритма, она является – автоматическим фильтром второго уровня, т.е. другими словами - фильтром тонкой очистки.

При создании и анализе функционирования какой-либо системы управления всегда подразумевается какой-либо глобальный критерий ее качества, что является отражением фундаментального принципа целостности, принятого в системном подходе. Для того чтобы определить наличие такого критерия, необходимо подняться на одну или несколько ступеней иерархии в структуре функционирования изучаемого объекта. На основании другого фундаментального принципа системного подхода – принципа декомпозиции – возможен переход от глобального критерия качества функционирования системы к локальным критериям качества. Это, в свою очередь, позволяет определить структуру математических моделей и топологию соответствующих подсистем управления, обеспечивающих соблюдение требований к локальным критериям качества и, как следствие, достижение экстремальных значений глобального показателя эффективности технологического процесса.

Предложенный алгоритм характеризуется небольшим объемом математических вычислений и даже с учетом большого количества обрабатываемых данных (с более чем 5 тысяч точек измерения) позволяет выполнять автоматическую обработку данных в режиме близкому к реальному времени.

Предложенный в работе алгоритм обнаружения грубых ошибок, совмещенный с балансовым методом, тестируется на реальных значениях, получаемых с энергообъектов энергосистемы Самарской области. Наиболее эффективно выявляются ошибки в значениях выработки и потребления активной мощности. В виду того, что в настоящее время отсутствуют взаиморасчеты за реактивную мощность, в части измерения реактивной мощности количество недостоверных данных велико, поэтому и количество ложных определений недостоверности в результатах измерения реактивной энергии существенно выше.

Математическую модель обработки данных АИИС КУЭ, продолжает проходить опытную эксплуатацию для проверки работоспособности представленной модели. В дальнейшем планируется использовать ее для полной автоматизации процесса сбора, обработки и передачи данных АИИС КУЭ регионального уровня на уровень объединенного диспетчерского управления.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.
2. Математические основы теории автоматического управления [Текст] : учеб.пособие: В 3 т./ под ред. Б.К. Чемоданова. – 3-е изд., перераб. и доп. – т.1. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2006. - С. 377-383.

Кирилин Сергей Витальевич

Самарский государственный технический университет 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, аспирант

E-mail: SSR_RDY@mail.ru

MODELLING OF ALGORITHM FOR AUTOMATIC CONTROL OF AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEMS FOR ELECTRICAL ENERGY ACCOUNTING

This paper reports the algorithm of automatic control for Automated Information-measuring systems for electrical energy accounting (AIMS EEA). The algorithm is realized as the program complex including two-level processing of the information for obtaining optimal results of cleared data.

Keywords: *automatic control system, systems analysis, complex system, optimization, electrical energy accounting, energy balance.*

BIBLIOGRAPHY

[1] Bellman, P. Decision-making in fuzzy environment [Text] / P Bellman, L. Zade // Questions of the analysis and procedure of decision-making. - Moscow: World, 1976. - Pp.172-215.

[2] Mathematical bases of the theory of automatic control [Text] : textbook in 3 vol./ - Vol.1, B.K. Chemo-danov, - 3-rd edition, - M.: MGTU im. N.Je. Bauman, 2006. - Pp. 377-383.

Sergey V. Kirilin

Samara State Technical University. 244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Postgraduate student

E-mail: SSR_RDY@mail.ru

УДК 621.9.048

Ю.Р. КОПЫЛОВ, С.Ю. КОПЫЛОВ

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОУДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ CUDA

Рассматриваются результаты трехмерного сплайнового моделирования процесса виброударного упрочнения деталей сложной формы с закреплением в контейнере методом дискретных элементов с использованием программно-математической платформы CUDA.

Ключевые слова: *виброударное упрочнение, моделирование, программная платформа CUDA*

ВВЕДЕНИЕ

В авиационном производстве изготавливаются детали сложной формы, сконструированные с максимальным ограничением по массе, работающие при интенсивных воздействиях, высоких требованиях к усталостной прочности, ресурсу и надежности, для которых виброударное упрочнение, помимо струйных методов, является единственно приемлемым методом упрочнения. Для этих деталей усредненную оценку параметров упрочнения нельзя применять, из-за значительных погрешностей. Здесь необходимо достоверно знать трехмерное распределение параметров качества поверхностного слоя по всем участкам детали. В противном случае приходится неоправданно повышать коэффициент запаса прочности, что приводит к увеличению массы деталей и изделия. Разработка методов трехмерного сплайнового моделирования процесса виброударного упрочнения деталей сложной формы с закреплением в контейнере методом дискретных элементов с использованием программно-аппаратной платформы CUDA является своевременной и актуальной задачей.

В работе используются в качестве программной основы расчета видеокарты с поддержкой технологии GPGPU технологию CUDA фирмы nVidia, которые обладают более высоким быстродействием по сравнению с центральными процессорами (таблица 1). Контейнер имеет форму цилиндра радиусом 150 мм и глубиной 50 мм. Деталь форму конуса – большой

радиус равен 50, меньший 25 мм, глубина – 50 мм, количество сплайнов детали 576 (рисунок 4).

Параметры инструментальной среды: количество частиц 16520, радиус частицы – 2,5 мм, материал – сталь ШХ15, шероховатость Ra 0,32мкм. Количества частиц задается 75 % загрузки свободного объема контейнера.

В настоящее время максимальное количество ядер в центральном процессоре достигает 16, в таком процессоре можно запустить 16 параллельно работающих потоков. Система позволит запустить и большее количество потоков, но процессорное время будет поочередно предоставляться каждому запущенному потоку, приостанавливая выполнение другого потока. В графическом процессоре видеокарты можно одновременно запустить несколько десятков тысяч потоков. По этой причине выбраны видеокарты с поддержкой GPGPU.

Вычисления носят гетерогенный характер, часть которых выполняется на центральном процессоре, другая, наиболее трудоемкая часть выполняется на видеокарте nVidia CUDA посредством интерфейса настройки параметров моделирования (рисунок 1).

Структурная схема алгоритма расчета включает: инициализацию, определение пар вероятных соударяющихся частиц, расчет сил соударений, интегрирование уравнений движения частиц и сплайнов, обновление информации о вероятных соударениях в новом такте, сброс информации в базу данных, повтор цикла вычислений с шагом 0,1-1 микросекунда.

Таблица 1 - Сравнение характеристик устройств с поддержкой CUDA и ЦП

Тип устройства	Центральный процессор	Видеокарты серии nVidia GeForce			Вычислительные модули nVidia Tesla	
Наименование модели	Intel Core i7 930	GTX 295	GTX 480	GTX 580	C1060	C2075
Число ядер CUDA\ядер процессора	4 (8 в режиме HT)	8x30=240 240x2=480	480	512	240	448
Тактовая частота видеокарты (МГц)	–	576	700	772	–	–
Тактовая частота процессора, МГц	2800	1242	1401	1544	1300	1150
Многопроцессорность	Можно объединить несколько процессоров	NVIDIA Quad-SLI	NVIDIA 3-way SLI	NVIDIA 3-way SLI	До 8 устройств	До 8 устройств
Максимальное количество нитей на мультипроцессор \ процессор	Можно объединить до нескольких десятков проц.	1024	1536	1536	1024	1536
Количество мультипроцессоров	–	2x30				
ЕСС-память	нет	нет	нет	нет	да	да
Производительность, ГФЛОПС (по данным фирмы-производителя)						
Одинарная точность	55,6	696	1317	1581	727	1030
Двойная точность	55,6	74,3	168		77,6	515

Перед запуском процесса моделирования, создаются трехмерные модели контейнера и детали в редакторе 3D Studio Max и экспортируются их в файл формата 3DS. При создании модели определяются и задаются размеры сплайнов детали и контейнера (рисунок 2, а). Ви-

зуализация трех мерного состояния системы в начале моделирования представлено на рисунк 2, 6.

Инициализация выполняется на центральном процессоре посредством интерфейса программы-симулятора, где задаются настройки моделирования, исходные данные состояния поверхности детали, физико-механических свойств материала детали (рисунок 1).

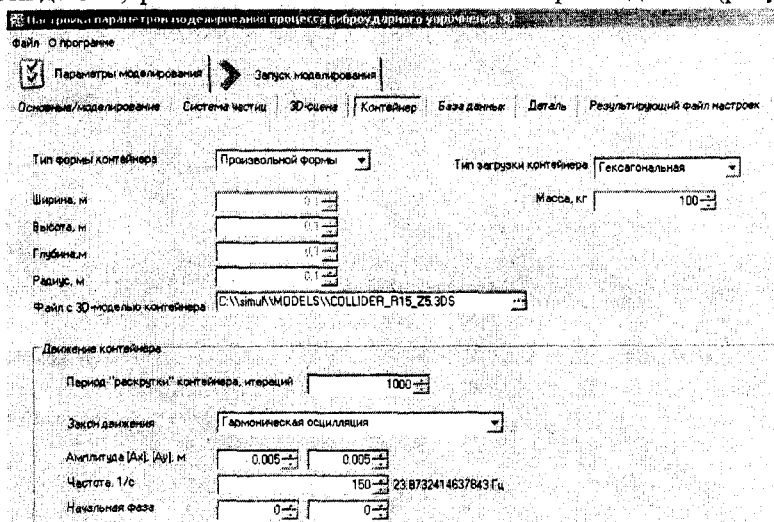


Рисунок 1 - Фрагмент интерфейса настройки параметров трех мерного моделирования

Здесь автоматически задаются начальные координаты и состояние конечного множества частиц в пространстве, инициализируется сеточная структура системы, подготавливается база данных (БД) в формате Microsoft Access 2003, обработка полученных результатов осуществляется посредством SQL – запросов.

Базы данных содержат пять основных массивов: параметров моделирования, состояние дискретной системы, периодичность сохранения информации в таблицу, состояние контейнера, состояние сплайнов детали (скорость и энергия соударений, шероховатость, наклеп, остаточные напряжения и др.), статистика соударений.

Важную роль в процессе расчета играет шаг интегрирования. Неверный выбор шага может привести к отрицательным последствиям. Если шаг моделирования выбран слишком большой – гранулы «проникают» сквозь виртуальные стенки контейнера и во внутрь детали. Не стоит выбирать мелкий шаг – это приведет к увеличению времени моделирования. В настоящей работе шаг выбран эмпирически равным 0,1-1 мкс.

Разбиение пространства однородной регулярной сеткой на кубические ячейки, осуществляется для записи информации в каком номере ячейки находятся частицы с соответствующим номером, центры которых расположены внутри данной ячейки. Размер ячейки выбирается таким образом, чтобы он был несколько больше, чем характерный размер гранулы. В работе предполагается, что частицы имеют маленькую дисперсию размеров. Тест столкновения между двумя частицами выполняется тогда, когда они принадлежат одной и той же ячейке и расстояние между их центрами уменьшается.

В работе при использовании метода дискретных элементов предполагается, что частицы деформируются упруго-пластически. Деформируемые частицы перекрываются и при этом сила взаимодействия пропорциональна величине перекрытия x (рисунок 8). Такая модель используется в случае, когда частицы находятся в длительном контакте друг с другом либо в нескольких контактах одновременно. Столкновения в этом случае можно рассматривать как парные и мгновенные, и взаимодействие рассчитывается как простой обмен импульсами. Частицы при контакте взаимодействуют посредством вязкоупругой силы – линейной комбинации закона Гука и вязкой составляющей диссипации энергии соударений.

Величина нормальной составляющей контактной силы определяется выражением:

$$\vec{F}_n = cx + b\vec{V}_n, \quad (1)$$

где c – коэффициент квазижесткости; b – коэффициент демпфирования.

Коэффициент квазиупругой жесткости отвечает за силу отталкивания, а коэффициент демпфирования – за потерю энергии при соударении. Данные коэффициенты могут быть получены из эксперимента или аналитически, из теории Герца.

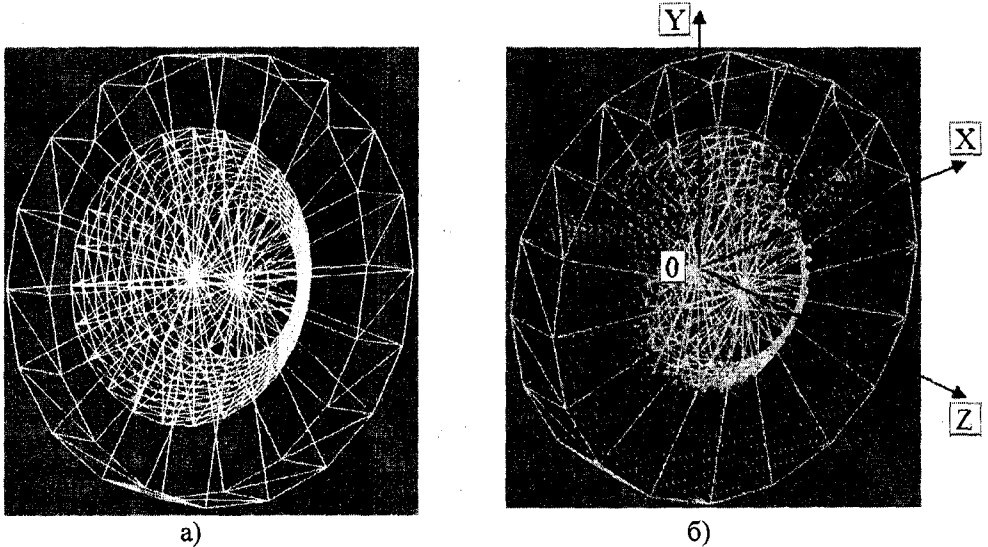


Рисунок 2 – Задание геометрии поверхности детали и контейнера в виде сплайновой структуры (а) и визуализация состояние системы в начале моделирования (б)

Тангенциальная составляющая учитывает трение Кулона. Уравнение для ее определения выглядит следующим образом

$$\vec{F}_t = \mu \vec{s} |F_n| \quad (2)$$

где μ – коэффициент вязкого трения, $\vec{s}$ – вектор, направленный в сторону, противоположную вектору тангенциальной составляющей относительной скорости соударения.

Общая сила будет равна векторной сумме тангенциальной и нормальной составляющих. Приведенные формулы инварианты относительно размерности пространства, т.е. подходят как для моделирования 2D -, так и 3D-систем. После расчета контактной силы, обновляем скорость. Модель адекватно описывает поведение трехмерной среды, достаточно проста в реализации. Эта же контактная модель используется при расчете соударения гранулы о сплайн поверхности детали и контейнера. Сплайн в данном случае подменяется фиктивной гранулой, значительно большего размера и массы, у которой центр расположен таким образом, что сплайн лежит на ее поверхности.

После того как между частицами установлено наличие контакта, рассчитывается сила соударения. Параллельная обработка ячеек однородной сетки на предмет соударений находящихся в них гранул происходит следующим образом. Сначала выполняется классический алгоритм, когда последовательный код выполняется на центральном процессоре. В алгоритме расчета имеется функция, которая в цикле последовательно вызывается для расчета соударений для каждой частицы среды. Сокращение времени вычислений происходит за счет запуска указанной функции параллельно в нескольких потоках для разных частиц. На видеокарте параллельно запускается несколько десятков тысяч потоков и соответственно обрабатывается столько же гранул. На используемой в работе видеокарте nVidia GeForce GTX 295 запускается одновременно 30720 потоков.

Функция спецификатор, управляющая потоками вычислений, запускает функцию вычислений центрального процессора а исполняет ее устройство device, ГП. Перед вызовом

функции ядра указывается конфигурация вычислительной сетки, так как весь массив запускаемых параллельных потоков также имеет свою структуру и подразделяется на блоки. Указывается количество блоков в сетке и количество потоков в блоке. Задается указанная конфигурация специальными символами, между которыми и указывается конкретная конфигурация сетки. Тестирование показывает, что при трехмерном моделировании динамики процессов виброударного упрочнения система моделируется в реальном времени до 200000-250000 частиц вибрирующей инструментальной среды. В результате параллельных вычислений время трехмерного моделирования с применением видеокарт фирмы NVidia CUDA не превышает времени двухмерного моделирования одних и тех же деталей.

Программой предусмотрено выполнение виртуальных разрезов таким образом, чтобы частицы из процесса моделирования не изымались и не удалялись, иначе нарушится процедура моделирования, а делались невидимыми в отсеченном объеме. Разрезы могут выполняться в любом требуемом направлении. Это позволяет исследовать динамику перемещений частиц инструментальной среды и формирование технологических параметров качества поверхностного слоя внутри деталей сложной формы, например в полостях корпусных деталей турбоагрегатов.

Для построения разреза используется функция `GL_CLIP_PLANE0` библиотеки OpenGL, а также переменная `gl_ClipVertex` в графической подпрограмме, предназначенном для того, чтобы сделать невидимыми гранулы в отсеченном объеме, где они по существу присутствуют и участвуют в моделировании динамики среды. В программе предусмотрено выполнение до шести сечений, с произвольной их ориентацией. На рисунке 3, а показано сечение в плоскости YOZ , где хорошо видны периодические соударения частиц пограничного слоя вибрирующей инструментальной среды со сплайнами детали. На рисунке 3, б показано сечение в плоскости XOY , где хорошо видны циркуляционные перемещения инструментальной среды.

Это позволяет изучать динамику перемещений частиц вибрирующей инструментальной среды и динамику сплайнового формирования поверхностного слоя детали в любом недоступном для визуального наблюдения элементарном объеме.

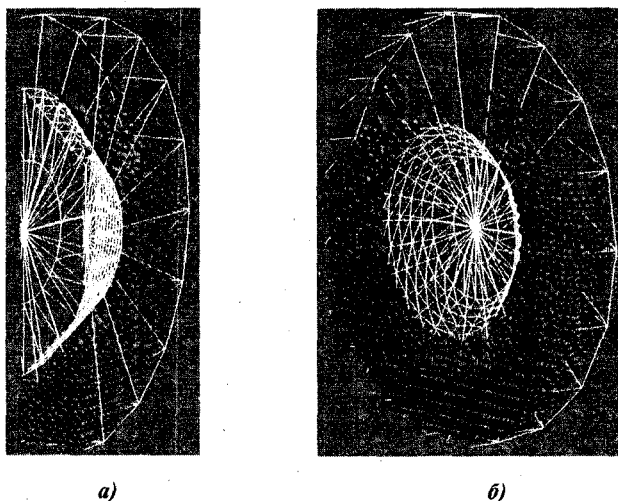


Рисунок 3 - Визуализация состояния системы и перемещения частиц в виртуальных разрезах по координатам ZOY (а) и по координатам XOY (б)

Интегрирование уравнений движения выполняется после расчета сил соударений. Для каждой частицы вычисляют результирующую действующих на неё сил, после чего интегрируют уравнения движения для определения новых значений линейной скорости, положения и ориентации частицы. Обновление информации о потенциальных контактах, координатах и скоростях перемещений частиц системы, осуществляется в каждом шаге интегрирования и

итерационного процесса. Переход на следующий шаг происходит после выполнения всех запланированных алгоритмом процедур.

Получена информация о трехкоординатном распределении скоростных, энергетических и технологических параметрах формирования поверхностного слоя для конечного множества сплайнов детали сложной формы, с учетом ее размеров, формы и расположения поверхности, физико-механических свойств ее материала, размерных и физико-механических параметров инструментальной среды. Демонстрация динамики перемещений частиц вибрирующей инструментальной среды в режиме «Play» показывает их адекватность перемещениям в натурном эксперименте.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандерс, Д. Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров [Текст] / Д. Сандерс, Э. Кэндрот. - 2011. - 476 с.
2. Копылов, Ю.Р. Динамика процессов виброударного упрочнения [Текст] : монография / Ю.Р. Копылов. - Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2011. - 568 с.
3. Боресков, А.В. Основы работы с технологией CUDA [Текст] / А.В. Боресков, А.А. Харламов. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 232 с.
4. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механического удара [Текст] / Я.Г. Пановко. - М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1977. - 244 с.

Юрий Романович Копылов
Доктор технических наук, профессор,
ГОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Тел: 8-4732-70-27-20
E-mail: urkopulov@mail.ru

Сергей Юрьевич Копылов
Аспирант.
ГОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Тел: 8-961-109-99-01
E-mail: sjkopiloff@mail.ru

Y.R. KOPYLOV, S.J. KOPYLOV

VIBRO-IMPACT SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL HARDENING OF THE USE OF PROGRAM CUDA PLATFORM

The results of three-dimensional spline modeling vibroshock hardening of intricate parts in a container with fixing the method of discrete elements using mathematical software platform CUDA.

Keywords: vibro-impact reinforcement, modeling, software platform CUDA

BIBLIOGRAPHY

- [1] Sanders, J. CUDA technology in the examples. Introduction to Programming graphics processors [Text] / J. Sanders, E. Kendrot. - 2011. - 476 p.
- [2] Kopylov, Y.R. The dynamics of the processes of hardening vibroshock [Text] : monograph / Y.R. Kopylov. - Voronezh: CPI, "Research Paper", 2011. - 568 p.
- [3] Boreskov, A.V. Basics of Technology CUDA [Text] / A.V. Boreskov, A.A. Kharlamov. - Moscow: DMK Press, 2010. - 232 p.
- [4] Panovko, J.G. Introduction to mechanical shock. Home version of physical and mathematical literature [Text] / J.G. Panovko. - Moscow: Publishing House "Nauka", 1977. - 244 p.

Yuri Kopylov, R.
Doctor of Technical Sciences,
GOU VPO «Voronezh State
Technical University»
Tel: 8-4732-70-27-20
E-mail: urkopulov@mail.ru

Sergey Kopylov
Graduate student.
GOU VPO «Voronezh State
Technical University»
Tel: 8-961-109-99-01
E-mail: sjkopiloff@mail.ru

В.В. САВВИН, А.В. КИРИЧЕК, А.Н. АФОНИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТЫВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ РЕЗЬБ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Авторами статьи разработана методика моделирования накатывания внутренних трапецеидальных резьб, включающая проектирование заточенного резьбонакатного инструмента в системе твердотельного моделирования T-FLEX CAD и моделирования технологического процесса методом конечных элементов (МКЭ) DEFORM.

Ключевые слова: Накатывание резьбы, заточенный инструмент; бесстружечный метчик; метод конечных элементов

Трапецеидальные резьбы широко применяются в машинах и механизмах в качестве винтовых передач и высокопрочных резьбовых соединений. Примерами использования таких резьб являются приводы подач металлорежущих станков и винтовых прессов, домкраты, гидронасосы, и т.д. Основная задача всех отраслей отечественного машиностроения в настоящее время - это повышение качества продукции и производительности труда. Для успешного решения этой задачи необходимо постоянно развивать и совершенствовать технологию механической обработки, в том числе и технологию изготовления резьб. Любые усовершенствования технологических операций резьбообработки многократно тиражируются и дают значительный технико-экономический эффект.

Особенно значительные трудности вызывает изготовление внутренней резьбы. Внутреннюю трапецеидальную резьбу в настоящее время получают нарезанием и резьбопротягиванием. Трапецеидальные резьбы большого диаметра получают вихревой обработкой. К недостаткам резьбонарезания можно отнести низкую усталостную прочность сформированной резьбы, низкую производительность [2].

При обработке пластичных материалов выдавливание внутренних резьб вполне конкурирует в определенном диапазоне размеров с методом нарезания резьб метчиками и превосходит по эффективности другие методы: повышается точность обработки, улучшается собираемость резьбовых соединений, повышается прочность резьбы и пр. Кроме того колебания вращающего момента в процессе пластического деформирования значительно меньше, чем в процессе резания. В связи с этим бесстружечные метчики практически не разбивают резьбу, что также сказывается на ее точности. [1]

К недостаткам накатывания бесстружечными метчиками следует отнести относительно высокую стоимость их изготовления, а также повышенные энергозатраты в процессе резьбообразования в связи с большим вращающим моментом. Применение бесстружечных метчиков сдерживается также из-за резкого снижения их стойкости при накатывании трапецеидальных резьб. Проектирование новых прогрессивных конструкций бесстружечных метчиков, обеспечивающих повышение стойкости, и совершенствование технологии накатывания внутренних резьб требует проведения дополнительных исследований.

Наиболее перспективным для исследования процесса накатывания внутренней трапецеидальной резьбы представляется метод конечных элементов (МКЭ). По сравнению с прочими, аналогичными по назначению методами, МКЭ позволяет определить распределение полей напряжений и деформаций по всему объему инструмента и заготовки, что является важным условием при исследовании объемного пластического деформирования (накатывания резьбы). На сегодняшний день создано множество программных продуктов для ПЭВМ, которые реализуют МКЭ. Использование вычислительной техники при проведении теоретических исследований значительно снизит их трудоемкость и в разы сократит временные затраты. Одним из мировых лидеров в области моделирования процессов обработки давлением и резанием с помощью МКЭ является система DEFORM. Мощная система моделирования технологических процессов DEFORM 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 резбонакатывания.
- Гибкие условия для разбивки заготовки на конечные элементы (весовые коэффициенты, которые позволяют в отдельных местах заготовки делать сетку конечных элементов плотнее или реже).
- Параметризация движения инструмента и синхронизация выполнения операций по времени.

Разработана методика численного моделирования взаимодействия инструмента и заготовки при раскатке внутренней трапецидальной резьбы [4], основанная на конечно-элементных моделях, реализуемых в системе твердотельного моделирования T-FLEX CAD и вычислительном программном комплексе DEFORM.

Взаимодействие раскатника и заготовки является сложным многофакторным процессом. Учет всех его особенностей в зонах контактного взаимодействия практически невозможен. В связи с этим сформулируем основные допущения, сделанные при формировании расчетной модели. Принимаем, что материал заготовки является изначально сплошным, однородным и изотропным. Процесс деформирования считаем изотермическим, протекающим по диаграмме, соответствующей жестко пластическому телу с кинематическим упрочнением. Модель материала, соответствующая стали 45, выбиралась из библиотеки материалов DEFORM. Инструмент считаем абсолютно жестким телом.

Технологическое внедрение поверхности раскатного метчика определяется уравнением контурной кривой его поперечного сечения. Уравнение этой кривой является результатом процесса затылования метчика и задается параметрически в форме:

$$\begin{aligned}x &= R_o \cdot \cos(\beta - \omega_M) + L(\omega_M) \cdot \cos \omega_M + H \cdot \sin \omega_M, \\y &= R_o \cdot \sin(\beta - \omega_M) - L(\omega_M) \cdot \sin \omega_M + H \cdot \cos \omega_M, \\tg\beta &= \frac{(\partial L / \partial \omega_M) - H}{L(\omega_M)},\end{aligned}$$

где R_o — радиус шлифовального круга, осуществляющего процесс затылования; ω_M — угол поворота заготовки метчика; $L(\omega_M)$ — закон изменения расстояния между центрами шлифовального круга и заготовки метчика; H — расстояние между центром шлифовального круга и начальным положением оси X_1 , связанный с вращающейся заготовкой в начальный момент времени; β — параметр.

В соответствии с данными принято

$$tg\beta = \frac{k \cdot n \cdot \sin(n \cdot \omega_M)}{2 \cdot (R_o + R_M) + k \cdot \cos(n \cdot \omega_M)},$$

где k — величина затылования; R_M — радиус метчика; $n = 4$ — число граней метчика.

Профиль резьбы метчика в нормальном сечении определялся рабочим чертежом профиля трапецидальной резьбы в соответствии с ГОСТ 9484-81.

Параметры материала заготовки определяются на основании вводимой серии кривых одноосного деформирования при различных скоростях и температурах деформирования. Моделирование производилось на $1/4$ заготовки с заданием окон плотности для уменьшения размеров элементов конечно-элементной сетки в области деформирования (рисунок 1, а).

Геометрическая модель накатывания внутренней трапецидальной резьбы бесстружечным метчиком показана на рисунок 1, б. Моделирование производилось для накатывания двумя витками инструмента. 3D модель накатника создавалась T-FLEX CAD по методике [3].

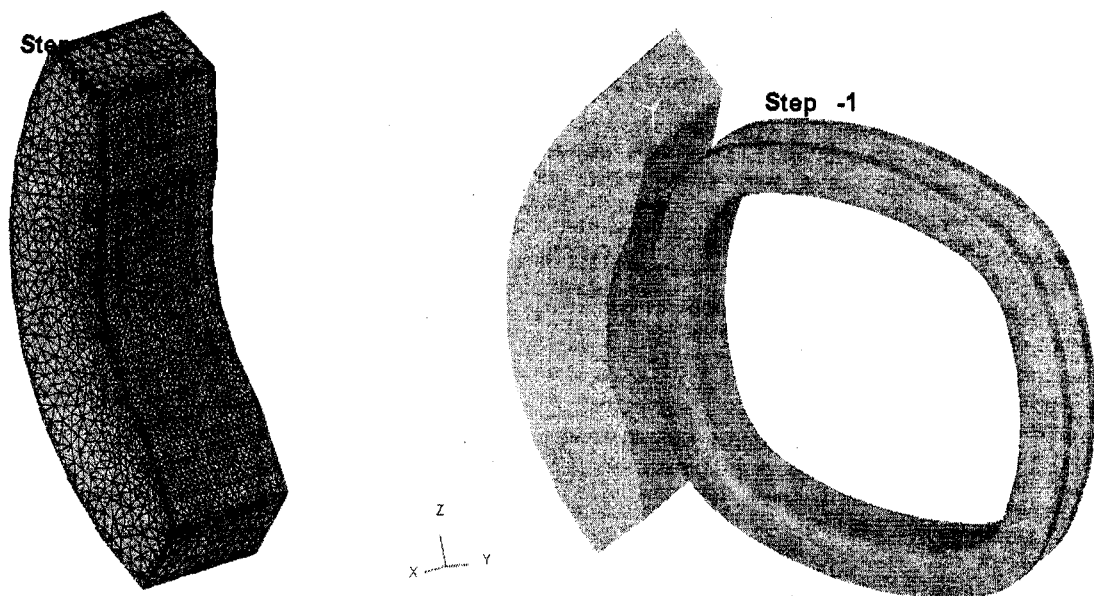


Рисунок 1 – Геометрическая модель заготовки и инструмента в системе DEFORM
а – конечно-элементная сетка заготовки; б – начальное положение заготовки и инструмента

Диаметр заготовки под накатывание рассчитан исходя из равенства объема металла выдавливаемого из впадин в выступы при условии образования незамкнутого контура. Эта задача решена с помощью построения 3D-модели с использованием CAD системы T – FLEX CAD [2].

Сопrotивление движению раскатника определяется процессом деформирования с учетом трения в виде коэффициента $\mu = 0,45$, учитывающего статическую и динамическую составляющую, скорость движения. Числовые значения были выбраны в соответствии с характеристиками СТ СОЖ МР-7 [5].

Моделирование осуществлялось путем поочередного накатывания одной вершиной инструмента с последующим перемещением инструмента в заготовку на величину радиального обжатия витка. Деформирование заготовки производилось до формирования полного профиля резьбы. Полученные в результате величины сил деформирования для отдельных витков суммировались для определения крутящего момента на метчике. При этом учитывалось, что при обработке резьб в гайках количество одновременно работающих витков резьбы инструмента не превышает 4-5.

Пример полученных в результате моделирования полей эквивалентных деформаций и нормализованного критерия разрушения Кокрофта – Лейтема критерия приведен на рисунке 2.

В результате моделирования установлено, что при накатывании резьбы Tr10 на заготовках из стали 45 возникают крутящие моменты, представленные в таблице 1.

При расчете предельно допустимого крутящего момента использовалась аналитическая зависимость, учитывающая форму, размеры рабочих элементов инструмента, а также характеристики материала инструмента (сталь Р18)[1]:

$$M_{\text{ед. одфд.}} = \frac{\left[\frac{(d_{\text{дл}} - K)^4}{16} - 1,18 \cdot K^2 \cdot \pi \cdot (d_{\text{дл}} - K)^2 - 2,22 \cdot K^4 \cdot \pi \right] \cdot (d_{\text{дл}} - 5 \cdot K) \cdot [\sigma_s]}{(d_{\text{дл}} - 3 \cdot K)^2};$$

где d_{bl} - наибольший диаметр впадины метчика; K - число его граней; $[\sigma_s]$ - Предел прочности для быстрорежущей стали P18, принят равным $172 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$

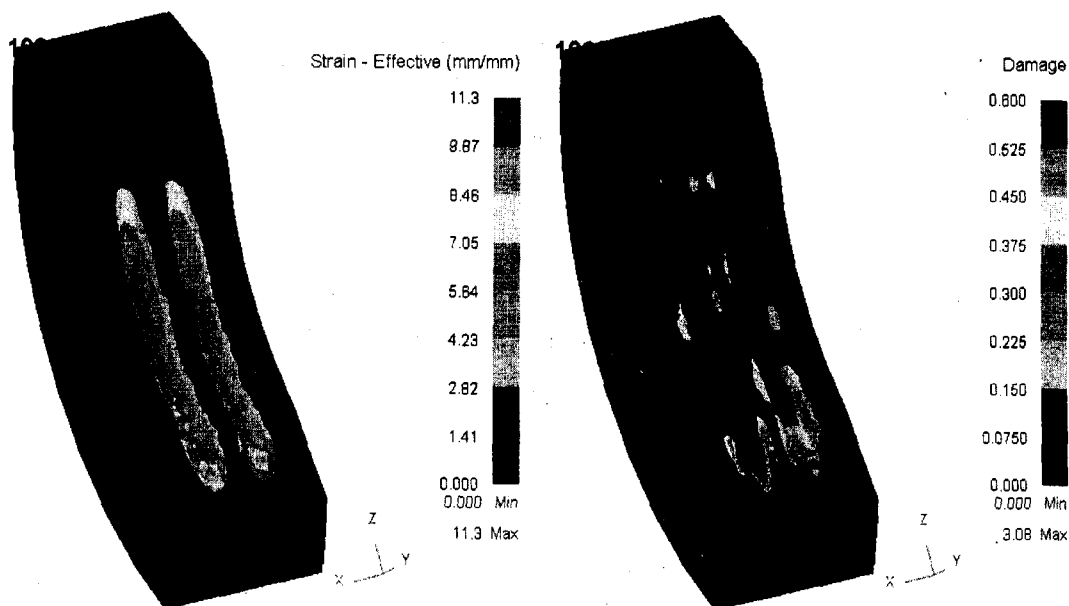


Рисунок 2 – Основные силовые параметры заготовки при моделировании накатывания трапецидальной резьбы TP10x1

а - эквивалентные деформации; б – нормализованный критерий разрушения Кокрофта - Лейтема

Таблица 1 – Величины крутящих моментов полученные в результате моделирования и их предельно допустимые значения

№ опыта	Шаг резьбы	Радиус при вершине раскатника, мм	Припуск накатывания первого витка, мм	Припуск накатывания второго и каждого последующего витка, мм	Крутящий момент, полученный в результате моделир., Н·м	Предельно допустимый расчетный крутящий момент, Н·м
1	1	1	0,5	0,25	16,42	203,83
2	1	1	0,5	0,025	16,42	203,83
3	1	1	0,05	0,25	18,72	203,83
4	1	1	0,05	0,025	45,49	203,83
5	3	1	0,5	0,25	121,1	88,595
6	3	1	0,5	0,025	121,1	88,595
7	3	1	0,05	0,025	550,7 / 110,14	88,595
8	3	1	0,05	0,25	181,06	88,595
9	3	2,5	0,5	0,25	156,87	88,595
10	3	2,5	0,5	0,025	183,13	88,595
11	3	2,5	0,05	0,025	844,57 / 169,91	88,595
12	3	2,5	0,05	0,25	201,06	88,595
13	1	2,5	0,5	0,25	83,45	203,83
14	1	2,5	0,5	0,025	41,56	203,83
1	1	1	0,5	0,25	16,42	203,83
2	1	1	0,5	0,025	16,42	203,83

Сравнение величин крутящих моментов с их допустимыми значениями показывает, что резьбу Tr10x1 можно накатывать по целому, а резьбу Tr10x3 можно накатывать только применяя многоинструментальную обработку (комплект метчиков) или накатывать по предварительно нарезанной винтовой канавке. Увеличение радиуса скругления при вершине раскатника с 1 мм до 2,5 мм приводит к возрастанию крутящего момента до 50 %.

Результаты моделирования с помощью МКЭ позволяют выявить для внутренних трапецидальных резьб области использования технологий комбинированной режуще-деформирующей обработки и накатывания по целому и определить рациональное количество метчиков в комплекте при многопроходной обработке исходя из условий прочности метчика.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков, В.М. Бесстружечные метчики [Текст] / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Середина - М.: Машиностроение. 1976. - 167 с.
2. Киричек, А.В. Резьбонакатывание. Библиотека технолога [Текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. - М.: Машиностроение, 2009. - 312 с.
3. Саввин, В.В. 3D моделирование затылованного резьбонакатного инструмента в системе T-FLEX CAD [Текст] / В.В. Саввин, А.В. Киричек, А.Н. Афонин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2011. - № 2/2(286). - С. 46-51.
4. Саввин, В.В., Методика моделирования накатывания внутренних резьб бесстружечными метчиками. [Текст] / В.В. Саввин, А.В. Киричек, А.Н. Афонин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - № 2/2-280. - С. 79-80.
5. Шолом, В.Ю. Разработка методологии определения триботехнических характеристик и выбора СОТС при проектировании технологических процессов металлообработки [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук / В. Ю. Шолом. - Уфа, 2001. - 387 с.

Саввин Вячеслав Викторович
Технологический институт им.
Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО
«Госуниверситет – УНПК», г.Орел
Аспирант кафедры ТМиКТИ
Тел. (4862) 541503
E-mail: savvin@email.ru

Киричек Андрей Викторович
Технологический институт им.
Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО
«Госуниверситет – УНПК», г.Орел
д.т.н., проф., директор ТИ им. Н.Н.
Поликарпова ФГБОУ ВПО «Гос-
университет – УНПК»
Тел. (4862) 555524
E-mail: avk@ostu.ru

Афонин Андрей Николаевич
Технологический институт им.
Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО
«Госуниверситет – УНПК», г.Орел
д.т.н., доц., профессор кафедры
ТМиКТИ
Тел. (4862) 541503
E-mail: af@au.ru

V.V. SAVVIN, A.V. KIRICHEK, A.N. AFONIN

MODELLING OF INTERNAL TRAPEZOIDAL THREAD ROLLING FINITE ELEMENT METHOD

The authors developed a technique for modeling the internal rolling trapezoidal threads, including thread rolling tool design relived in solid modeling system, T-FLEX CAD and modeling process by finite element method (FEM) DEFORM.

Key word: Rolling thread, undercut tool, chipless tap, finite element method

BIBLIOGRAPHY

- [1] Menshakov, V.M. Chipless taps [Text] / V.M. Menshakov, G.P. Urlapov, V.S. Sereda - M: Mechanical Engineering, 1976. - 167 p.

[2] Kirichek, A.V. Rezbonakatyvanie. Library technician [Text] / A.V. Kirichek, A.N. Afonin. - Moscow: Mashinostroenie, 2009. - 312 p.

[3] Savvin, V.V., 3D modeling relivied thread rolling tool in the T-FLEX CAD. [Text] / V.V. Savvin, A.V. Kirichek, A.N. Afonin, // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2011. - № 2/2 (286). – Pp. 46-51.

[4] Savvin, V.V., Methods of modeling the internal thread rolling demon-chip taps. [Text] / V.V. Savvin, A.V. Kirichek, A.N. Afonin, // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2010. - № 2/2-280. - Pp. 79-80.

[5] Shalom, 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, 2001. - 387 p.

Savvin Vyacheslav Viktorovich
State University-Education-Science-
Production Complex, Orel
Postgraduate of faculty «Mechanical
engineering and Design-technology
computer science»
Phone. (4862)54-15-03
E-mail: savvin@email.ru

Kirichek Andrey Viktorovich
State University-Education-Science-
Production Complex, Orel
Doctor technical sciences, Professor,
Director of TI to them.
N.N.Polikarpov of the State Univer-
sity-Education-Science-Production
Complex
Тел. (4862) 555524
E-mail: avk@ostu.ru

Afonin Andrey Nikolayevich
State University-Education-Science-
Production Complex, Orel
Doctor technical sciences, docent.
Professor of faculty «Mechanical en-
gineering and Design-technology
computer science»
Phone. (4862)55-55-24
E-mail: af@au.ru

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАНАТОВЕДУЩЕГО ШКИВА ЛИФТА В ПРОЦЕССЕ ИЗНОСА

В статье рассматривается методика определения геометрических и рабочих параметров канатоведущего шкива лифта на основе моделирования процесса износа.

Ключевые слова: долговечность, износ, канат, канатоведущий шкив, лифт, расчет, ручей.

В настоящее время в Российской Федерации находятся в эксплуатации более 370 тыс. различных лифтов. Большинство из них являются пассажирскими с редукторным приводом, включающим в свою конструкцию канатоведущий шкив (КВШ). Тяговое усилие в таких лифтах создается трением между канатом и ручьем КВШ. Данный тип лифтов является наиболее применяемым в жилых домах, и от их успешной эксплуатации во многом зависит качество жизни населения страны.

Опыт эксплуатации лифтового оборудования показывает, что наиболее распространенной причиной их простоя являются вандальные действия пассажиров. Однако, несмотря на высокую частоту проявления, отказы, вызванные вандальными действиями жильцов, обычно быстро и легко устранимы, и суммарное время простоя лифтов из-за них представляет собой небольшую величину – порядка 9,7 % от общего времени простоев. В то же время устранение отказов лифтового оборудования, носящих механический и электрический характер требует значительных трудовых затрат, и время простоя из-за них представляет собой значительную величину.

Одной из актуальных проблем эксплуатации лифтов являются отказы их канатно-блочной системы, которые требуют значительных материальных затрат для устранения при высокой регулярности проявления: один раз в 3-5 лет для канатов и 4-6 для КВШ на одну лифтовую установку [3]. Это свидетельствует о несомненной актуальности исследования вопросов износа лифтовых канатоведущих шкивов.

Интенсивность изнашивания КВШ лифта определяется силами трения между канатом и его ручьем, которые в свою очередь зависят от оптимальности взаимосвязанных геометрических, кинематических и силовых параметров, изменяющихся в процессе эксплуатации. При этом на скорость изнашивания ручьев КВШ влияют большое количество многообразных факторов, что определяет одновременность наличия различных видов изнашивания. Этот факт приводит к невозможности получения расчетных зависимостей износа КВШ на основании физических закономерностей. Поэтому на практике используют полуэмпирические и эмпирические закономерности, отражающие влияние основных факторов на конкретные виды износа. Для расчета износа ручьев, влияющих на долговечность КВШ, необходимо определить контактные давления, которые находятся по экспериментально полученным зависимостям с учетом назначения, режима работы и скорости подъема. При расчетах контактного давления в ручьях шкива различного профиля будут использованы рекомендации, впервые предложенные Хьюмансом и Хеллборном в 1927 году [2], которые, несмотря на давность, все еще сохраняют свою актуальность. При этом вводится допущение о том, что поперечное сечение каната имеет круглую форму и не деформируется.

В практике наиболее часто применяются КВШ с тремя специальными профилями поперечного сечения ручьев: клиновой (рисунок 1, а), полукруглый (рисунок 1, б) и полукруглый с подрезом (рисунок 1, в).

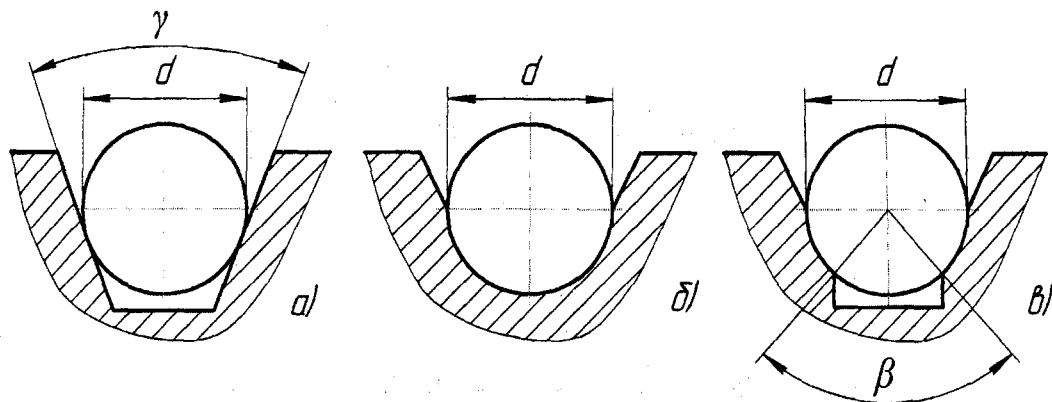


Рисунок 1 – Профили поперечного сечения ручьев КВИ

В ручьях полукруглого и полукруглого с подрезом профили поперечного сечения вертикальная составляющая контактного давления есть величина постоянная в любой точке контура поверхности контакта (рисунок 2). То есть:

$$p_v = \frac{P_k}{\cos \varphi} = \text{const},$$

где: p_k – величина контактного давления в ручье.

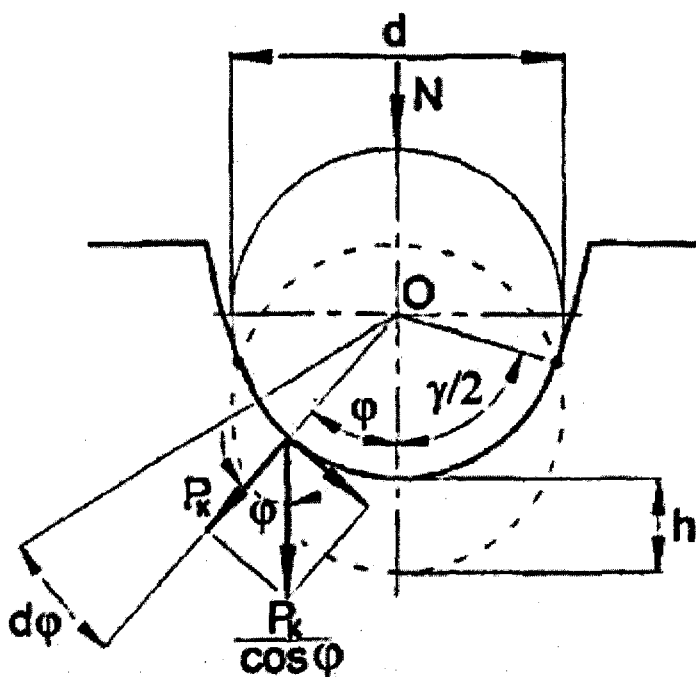


Рисунок 2 – Расчетная схема для ручья полукруглого профиля поперечного сечения

При этом у ручья полукруглого профиля поперечного сечения распределение контактного давления по опорной поверхности имеет вид непрерывной дуги, а у полукруглого с подрезом имеет место расхождение в области разрыва профиля, связанного с наличием подреза (рисунок 3).

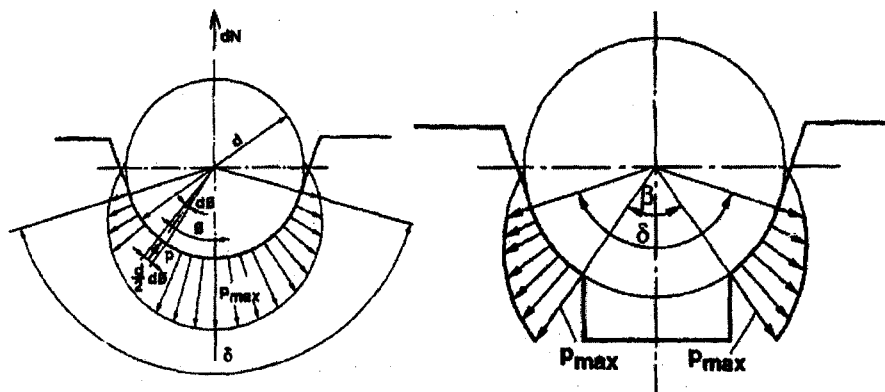


Рисунок 3 – Распределение контактного давления в ручьях полукруглого (слева) и полукруглого с подрезом (справа) профилей поперечного сечения

Можно видеть, что контактное давление у ручья полукруглого профиля поперечного сечения достигает своей максимальной величины в нижней части ручья:

$$p_{\max} = \frac{8 \cdot T}{D \cdot d \cdot (\delta + \sin \delta)},$$

где: T – натяжение каната, α – угол обхвата канатом КВШ; δ – угол контакта между ручьем КВШ и канатом.

В свою очередь, у ручья полукруглого с подрезом профиля максимум находится на краю подреза, при этом векторы давления распространяются на меньшей контактной площади, создавая, тем самым, более высокое давление, чем в полукруглом ручье:

$$p_{\max} = \frac{8 \cdot T \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{D \cdot d \cdot (\delta - \beta + \sin \delta - \sin \beta)},$$

где: β – угол подреза.

Наряду с износом, работоспособность КВШ определяется его тяговой способностью. Тяговые возможности КВШ определяются величиной сил трения, действующих между канатом и его рабочей поверхностью на длине дуги, определенной углом обхвата α . Сила трения зависит от коэффициента трения и нормального давления, возникающего между шкивом и канатами под действием их натяжения. Количественной мерой оценки тяговой способности КВШ является коэффициент тяговой способности, который является интегральным показателем работоспособности фрикционной передачи тягового усилия с обода КВШ тяговым канатам. Признаком отсутствия скольжения и достаточности величины силы трения на поверхности шкива служит неравенство (формула Эйлера):

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C \leq e^{f \cdot \alpha},$$

где: f – приведенное значение коэффициента трения между канатом и поверхностью ручья; C – коэффициент динамичности; T_1 и T_2 – большая и меньшая силы натяжения канатов соответственно;

$$C = \frac{g + a}{g - a},$$

где: a – ускорение лифта.

Величина приведенного коэффициента трения также зависит от профиля поперечного сечения ручья и определяется:

$$\text{а) полукруглый ручей } f = 4 \cdot \mu \cdot \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\delta + \sin \delta};$$

$$\text{б) полукруглый с подрезом ручей } f = 4 \cdot \mu \cdot \frac{\sin \frac{\delta}{2} - \sin \frac{\beta}{2}}{\delta + \sin \delta - \beta - \sin \beta};$$

где: μ – фактический коэффициент трения между канатом и КВШ (для пары трения «чугунный шкив – стальной канат» $\mu = 0,09$).

В процессе износа ручьев полукруглого и полукруглого с подрезом профилей поперечного сечения канат углубляется в вертикальном направлении, и радиальное смещение всех опорных точек h оказывается одинаковым (рисунок 4). Это означает, что вертикальная составляющая износа КВШ по всей опорной поверхности (дуге контакта) является постоянной величиной.

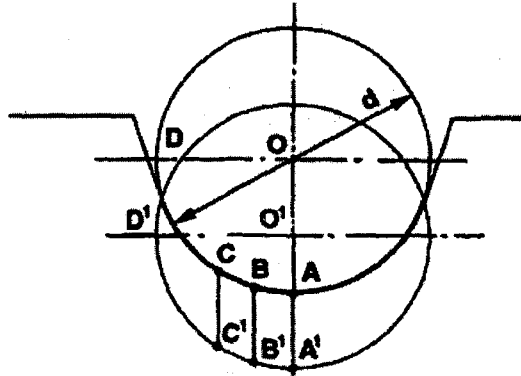


Рисунок 4 – Вертикальный сдвиг каната в ручье полукруглого профиля поперечного сечения при его износе

Следовательно, для определения характеристики изнашивания поверхностей трения может быть применена линейная интегральная зависимость изнашивания I_h [1]. Для системы «КВШ-канат», работающей в упруго-насыщенном контакте она имеет вид:

$$I_h = \frac{0,34 \cdot p_c \cdot (1 - \mu^2) \cdot \Delta^{\frac{1}{6}} \cdot (k')}{E \cdot \sigma_v} \times (\tau_0 + 0,75\beta \frac{E^{\frac{2}{3}} \cdot \Delta^{\frac{1}{6}} \cdot p_c^{\frac{1}{3}}}{(1 - \mu^2)^{\frac{2}{3}}}),$$

где: p_c – среднее контактное давление между канатом и рабочей поверхностью ручья; σ_v , E , t , β , τ_0 , μ , Δ , k' – триботехнические характеристики, зависящие от материала КВШ.

Таким образом, зная величину контактного давления в ручье, а также материал КВШ, можно определить его расчетную долговечность:

$$t_z = \frac{h_0}{60 \cdot \pi \cdot I_h \cdot n \cdot k_u \cdot k_n \cdot \frac{D}{2}},$$

где: h_0 – допустимая величина износа КВШ; k_u – коэффициент использования лифта во времени; k_n – коэффициент неравномерности износа ручьев; n – частота вращения КВШ.

Таким образом, в любой момент времени может быть определена величина износа ручья КВШ:

$$h_0 = \frac{t}{60 \cdot \pi \cdot I_h \cdot n \cdot k_u \cdot k_n \cdot \frac{D}{2}},$$

где: t – время эксплуатации КВШ.

Однако, такой подход неприменим к ручьям клинового профиля поперечного сечения, т. к. их рабочая поверхность претерпевает геометрические изменения в процессе изнашивания [3]. При износе ручей клиновой формы (рисунок 5, а) преобразуется сначала в полукруглый с подрезом (рисунок 5, б), а при полном изнашивании – в полукруглый (рисунок 5, в). При этом уменьшаются контактное давление, величина коэффициента трения и, как следствие, тяговая способность.

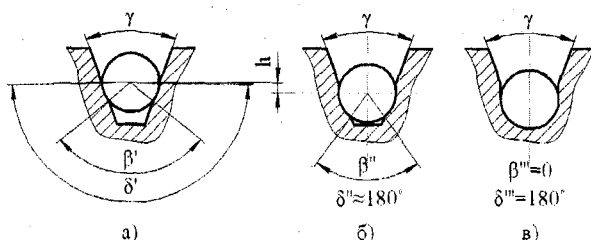


Рисунок 5 – Преобразование формы клинового ручья в процессе изнашивания

В начальный момент времени предполагается, что давление между канатом и ручьем КВШ клиновой формы вызывает деформацию рабочей поверхности каната в радиальной плоскости. Длина деформированного участка при этом составляет приблизительно одну треть от диаметра каната (рисунок 6).

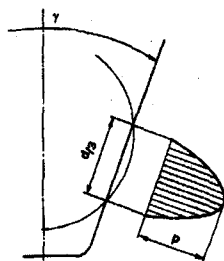


Рисунок 6 – Распределение контактного давления в неизношенном ручье клиновой формы

В границах этого участка изменение величины контактного давления происходит по синусоидальному закону с максимумом в вершине синусоиды. Множество вершин синусоид, расположенных по дуге обхвата α канатом КВШ описывают линию максимальных значений контактного давления, величина которого зависит от величины натяжения каната в каждой точке дуги:

$$P_k = \frac{3 \cdot \pi \cdot T}{2 \cdot D \cdot d \cdot \sin \frac{\gamma}{2}},$$

где: γ – угол профиля ручья.

Абсолютный максимум величины контактного давления будет в точке с наибольшим натяжением каната (точка сбега каната с КВШ со стороны кабины):

$$P_{\max} = \frac{3 \cdot \pi \cdot T_1}{2 \cdot D \cdot d \cdot \sin \frac{\gamma}{2}},$$

где: T_1 – большая сила натяжения каната.

Приведенный коэффициент трения неизношенного ручья клиновой формы:

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}}.$$

Уменьшение величины угла подреза β между тяговым канатом и ручьем КВШ при увеличении глубины врезания (износа) h каната в ручей определяет уменьшение тяговой способности КВШ с ручьями клиновидной формы. При достижении канатом нижней грани подреза происходит преобразование формы ручья из полукруглого с подрезом в полукруглый профиль. При этом происходит резкое снижение тяговой способности, что приводит к проскальзыванию каната. Для получения зависимости между величинами угла подреза и глубины врезания и, как следствие, закона изменения рабочих параметров КВШ с ручьями клиновидного профиля поперечного сечения, было выполнено моделирование процесса заглупления каната в ручей. В качестве объекта моделирования был принят наиболее распространенный клиновидный ручей с углом профиля $\gamma = 40^\circ$. Заметим, что уже в начальный момент времени величина угла δ практически равна 180 градусам, и в процессе износа приближается к этому значению. Поэтому принимается $\delta = 180^\circ$.

После проведения соответствующего анализа была получена функциональная зависимость, позволяющая описать изменение геометрии ручья клиновидной формы в процессе его изнашивания:

$$\beta(h) = \frac{A - Ch^{0,5} - Eh + Gh^{1,5} - Ih^2}{1 - Bh^{0,5} - Dh + Fh^{1,5} - Hh^2 + Jh^{2,5}},$$

где: $A = 102,00149$, $B = -0,75237528$, $C = -74,205583$, $D = -0,30681118$, $E = -51,721712$, $F = 0,26014996$, $G = 48,417021$, $H = -0,021902325$, $I = -7,4092905$, $J = 0,007170387$ – соответствующие коэффициенты.

Таким образом, в любой момент времени можно оценивать условие достаточности тяговой способности КВШ с ручьями клиновидной формы при его износе в зависимости от глубины врезания каната в ручей:

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C \leq e^{k_{nu} \cdot 4 \cdot \mu \cdot \alpha},$$

где: k_{nu} – коэффициент приведения при износе, определяемый функционально:

$$k_{nu}(h) = \frac{1 - \sin \frac{\beta(h)}{2}}{\pi - \sin \beta(h) - \beta(h)}$$

Графическая зависимость коэффициента приведения от величины износа изображена на рисунке 7.

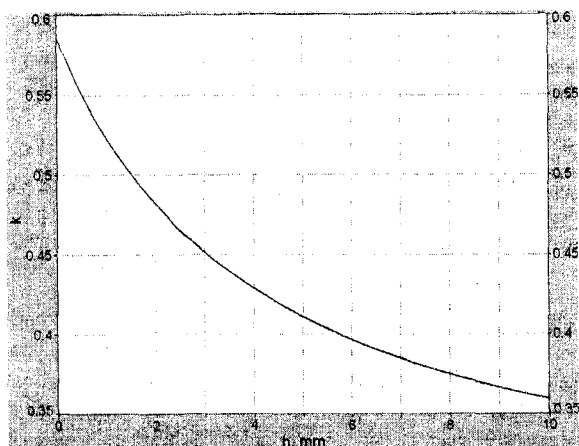


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента приведения при износе от величины износа

Аналогично можно получить закон изменения максимальной величины контактного давления между рабочими поверхностями каната и ручья клиновидной формы при различной степени его изнашивания:

$$p_{\max}(h) = \frac{8 \cdot T}{D \cdot d} k_{\text{м}}(h).$$

Поскольку ручки полукруглой и полукруглой с подрезом формы можно представить как ручки клиновой формы при достижении им определенной степени изношенности, то полученные зависимости позволяют:

- 1) определять как геометрические, так и рабочие параметры обода КВШ с учетом различных факторов;
- 2) прогнозировать долговечность существующих приводов с КВШ;
- 3) планировать периодичность проведения технического обслуживания и ремонта приводов с КВШ, находящихся в эксплуатации.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, А.П. Расчет рабочих параметров канатоведущего шкива в процессе износа [Текст] / А.П. Баранов, А.А. Инюшин // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. Тула: Изд-во ТулГУ, 2004 – С. 245-248.
2. Витчук, П.В. К вопросу о долговечности канатно-блочной системы лифта [Текст] / П.В. Витчук, Д.Ю. Абрамов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Инженерные науки. – 2011. - №11.
3. Яновски, Л. Проектирование механического оборудования лифтов [Текст] : монография. - 3-е издание – М.: Издательство АСВ, 2005.

Виталий Юрьевич Анцев

Доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Тел: (4872)33-22-88

E-mail: anzev@tsu.tula.ru

Павел Владимирович Витчук

Аспирант

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Тел: 8-920-888-81-14

E-mail: zzzVentor@ya.ru

V.Y. ANTSEV, P.V. VITCHUCK

CALCULATION OF ELEVATOR'S CABLE SHEAVE PARAMETERS DURING WEAR PROCESS

Definition techniques of elevator's cable sheave geometrics and operating parameters on the basis of wear process modeling is considered.

Key words: durability, wear, cable, cable sheave, elevator, calculation, groove.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Baranov, A.P., Injushin A.A. Calculation of elevator's cable sheave operating parameters during wear process [Text] / A.P. Baranov, A.A. Injushin // News of TSU. Technical sciences. - Tula: publishing house of TSU, 2004. - №5. – Pp. 245-248;
- [2] Vitchuck, P.V.. About durability of elevator's cable-hoist system [Text] / P.V. Vitchuck, D.J. Abramov // Science and education: on-line scientific and technical magazine. Engineering sciences. 2011. - №10.
- Janovsky, L. Elevator Mechanical Design [Text] : 3rd Edition. –Moscow: ABC, 2005. – 336 p.

Vitaly Yuryevich Antsev
Doctor of Engineering, professor
Tula State University,
Tula

Phone: (4872)33-22-88

E-mail: anzev@tsu.tula.ru

Pavel Vladimirovich Vitchuck
postgraduate student
Tula State University,
Tula

Phone: 8-920-888-81-14

E-mail: zzzVentor@ya.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ВЕТРА

При исследованиях теплообмена в биотехнической системе «человек - одежда - окружающая среда» при вынужденной конвекции, возникают методические трудности численной оценки составляющих теплового баланса. Авторами рассмотрены методические аспекты определения численных значений величины конвективного теплообмена и рассмотрены некоторые результаты исследований.

Ключевые слова: теплообмен, аэродинамическая камера, биотехнический эмулятор, ветер, естественная и вынужденная конвекция.

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение высокой работоспособности человека на холоде возможно при условии поддержания теплового равновесия в организме за счет: собственных механизмов терморегуляции, использования теплозащитных СИЗ или средств с искусственными системами терморегулирования, подбором рационального режима труда.

Проектирование СИЗ, которые в состоянии обеспечить тепловое равновесие организма в условиях комбинированного воздействия холода и ветра, является актуальной задачей. Ее решение позволит значительно снизить уровень простудных заболеваний среди категорий работников, связанных с деятельностью на открытом воздухе.

Предложены многочисленные подходы к проектированию теплозащитных СИЗ. Однако, актуальной остается проблема оценки эффективности предложенных образцов. В последние 30-40 лет предложены многочисленные экспертные шкалы и номограммы, позволяющие определять тепловое состояние человека и допустимую продолжительность охлаждающих воздействий, в зависимости от комплектации одежды сопротивления пакета одежды и условий окружающей среды [2,3]. Однако, этот подход во многом условен, т.к. не позволяет учитывать интенсивность теплообмена в биотехнической системе «человек - одежда - окружающая среда». Также условны и малоинформативны косвенные показатели (эффективная, эффективно-эквивалентная температура, показатель Захаренко и т.д.), которые не учитывают структуру пакета одежды.

В практике конструирования СИЗ для защиты от комбинированных воздействий холода и ветра, оценку эффективности принято проводить по величине воздухопроницаемости. Методики проведения такой оценки основаны на создании перепада статического давления на внешней и внутренней стороне испытуемого образца и оценке расхода воздуха. Например, Windproof metod, используемый фирмой Gore (рисунок 1), или метод, предложенный ГОСТ Р ИСО 9237-99.

Очевидно, что такие подходы позволяют проводить оценку эффективности спецодежды в основном на качественном уровне, поскольку проникновение ветра в структуру одежды является только одним из возможных охлаждающих механизмов при комбинированном воздействии пониженных температур и ветра. Поэтому наиболее перспективный подход к оценке эффективности СИЗ связан с исследованиями на испытуемых в аэродинамических камерах.

В этом случае оценивается тепловое состояние человека посредством комплекса физиологических показателей (СВТК, ректальная температура и т.д.). Такой подход информативен, но требует привлечения к исследованиям специалистов в области физиологии, гигиены труда, теплообмена и т.д. [3]. Для упрощения процесса проведения экспериментальных исследований, зарубежными специалистами разрабатываются тепловые модели, способные

заменить человека при испытаниях в аэродинамической камере [4]. Подобный подход позволяет автоматизировать процесс сбора и анализа исходных данных с помощью автоматизированных систем проведения научных исследований (АСНИ).



Рисунок 1 - Исследование воздухопроницаемости тканей по методу «Windproof method»

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК - ОДЕЖДА - ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА» ПРИ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Авторами статьи предложен вариант экспериментального комплекса для исследований теплообмена в биотехнической системе «человек - одежда - окружающая среда» при комбинированном воздействии холода и ветра (рисунок 2). Основными элементами комплекса являются: аэродинамическая камера 1 и биотехнический эмулятор (тепловая модель тела человека) 2. В состав аэродинамической камеры входят: побудитель движения воздуха (вентилятор 3), выравнивающие сетки 4, верхний и боковой концентраторы воздушного потока.

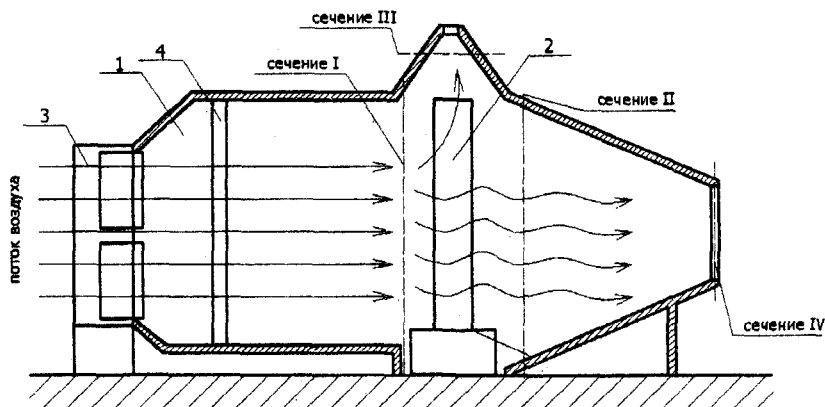


Рисунок 2 - Экспериментальный стенд для исследования процессов теплообмена в биотехнической системе «человек - одежда - окружающая среда»,

Теплообмен в биотехнической системе "человек - одежда - окружающая среда" в условиях смешанной конвекции протекает при набегающем потоке воздуха с определенной скоростью и температурой ($v_{\text{пот}}, \text{м/с}$; $t_{\text{пот}}, ^\circ\text{C}$), который нагревается от поверхности пакета одежды и разделяется на две составляющие. Первая, за счет Архимедовых сил поднимается вверх и проходит сквозь отверстие верхнего концентратора. Вторая составляющая, характеризующая интенсивность вынужденной конвекции, нагревается от поверхности пакета и проходит через отверстие бокового концентратора 4 [3].

При описанном режиме теплообмена, плотность теплового потока от рабочего объема биотехнического эмулятора ($q_{\text{под}}$, Вт/м²), направлена через структуру пакета одежды ($q_{\text{пак}}$, Вт/м²) в окружающую среду ($q_{\text{окр}}$, Вт/м²) (1):

$$q_{\text{под}} = q_{\text{пак}} = q_{\text{окр}} \quad (1)$$

Для определения численных значений теплообмена в биотехнической системе «человек - одежда - окружающая среда» необходимо оценить каждую составляющую уравнения (1).

Режим теплообмена биотехнического эмулятора с окружающей средой задается разностью температур, после чего поддерживается за счет импульсной подачи питания на ТЭН эмулятора при снижении температуры рабочего тела эмулятора на 0,4°C. Плотность теплового потока с рабочей поверхности эмулятора в этом случае (2):

$$q_{\text{под}} = \frac{U^2 \cdot \tau_{\text{имп}}}{R \cdot \tau_{\text{ц}} \cdot F_{\text{пов}}} \quad (2)$$

где: U - напряжение на ТЭНе (задается пользователем), В; $\tau_{\text{ц}}$ - время подачи импульса питания на ТЭН, с (измеряется); $\tau_{\text{ц}}$ - время между повторными включениями ТЭНа (измеряется); R - электрическое сопротивление ТЭНа, Ом (измеряется); $F_{\text{пов}}$ - площадь рабочей поверхности (константа - 0,377м²).

Тепловая энергия от рабочего тела эмулятора 1 (рисунок 3) рассеивается в окружающую среду через пакет одежды 2 (рисунок 3), согласно расчетной схеме.

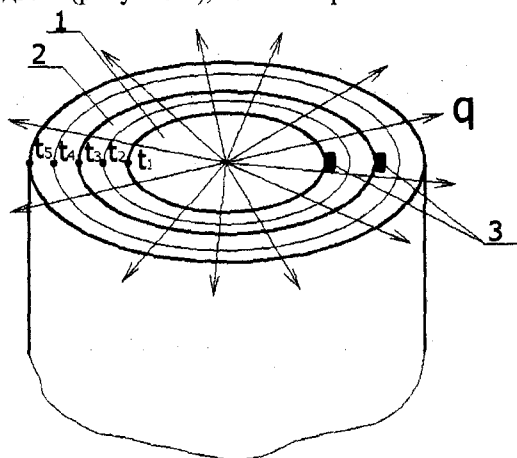


Рисунок 3 - Схема теплоотдачи от эмулятора в окружающую среду через пакет одежды

Плотность теплового потока, переданного через пакет одежды, может быть определена по характеру распределения температурного поля в структуре пакета, для чего на каждом из слоев размещаются первичные преобразователи температуры DS18B20 3 (рисунок 2), согласно схемам, разработанным ранее [1]:

$$\alpha = \frac{q_{\text{под}}}{(t_{\text{н2}} - t_{\text{н-пак}})}; R = \frac{1}{\alpha} = \frac{(t_{\text{н2}} - t_{\text{н-пак}})}{q_{\text{под}}} \quad (3)$$

где: α - коэффициент теплопередачи пакета одежды, Вт/(м² R - суммарное тепловое сопротивление пакета одежды, м²·°C/Вт; $t_{\text{н2}}$; $t_{\text{н-пак}}$ - температуры соответственно внутренней поверхности нижнего слоя пакета и внешней поверхности внешнего слоя пакета, °C.

Теплоотдача с поверхности пакета в окружающую среду происходит за счет теплового излучения, естественной и вынужденной конвекции. Оценка интенсивности лучистого теплообмена производится по закону Стефана-Больцмана.

Численное определение конвективной составляющей теплоотдачи основано на характеристике термодинамических параметров воздуха до и после контакта с поверхностью исследуемого пакета по уравнению А.В. Кошечева [2]:

$$Q_k = c\rho \cdot R_m \Delta t \quad (4)$$

где: c - теплоемкость воздуха, ккал/(кг·°C); R_m - массовый расход воздуха, участвующего в теплообмене (по уравнению 5); Δt - разность температур воздуха до и после теплообмена с поверхностью исследуемого пакета (по уравнениям 6).

$$R_m = \rho \iint_S u dS \quad (5)$$

$$\Delta t = \frac{\iint_S (t - t_0) dS}{S} \quad (6)$$

где: ρ - плотность воздуха, кг/м³; u - среднее интегральное значение скорости в рассматриваемом сечении, м/с; t, t_0 - среднее интегральное значение температуры воздуха до и после контакта с поверхностью пакета одежды, °C; S - площадь сечения потока воздуха, м².

Для оценки интенсивности теплоотдачи с поверхности эмулятора за счет вынужденной конвекции необходимо сравнивать термодинамические параметры воздуха в сечениях I, II и IV; за счет смешанной конвекции - в сечениях I и III (рисунок 2), для которых должен выполняться закон сохранения расхода:

$$R_I = R_{II} + R_{III} \quad (7)$$

$$R_{II} = R_{IV} \quad (8)$$

Проведение расчетов по соотношениям (5-8) осложняется оценкой среднеинтегральных значений температуры и скорости движения воздуха.

Для инструментальной оценки температуры воздуха в сечениях, конструкция теплообменной камеры (рисунок 4) оснащена измерительными сетками в виде крепежных мат (поз.1), на которых установлены первичные преобразователи температуры DS18B20 (поз. 2).

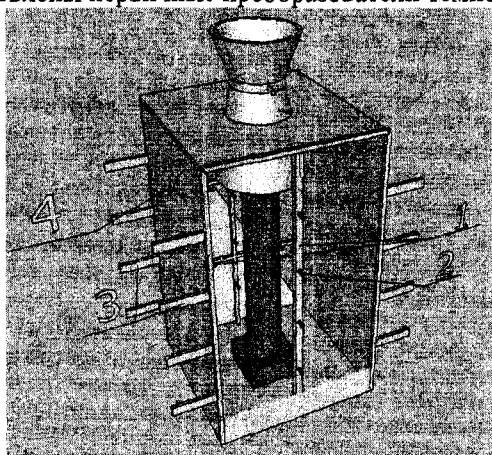


Рисунок 4 - Схема интегрирования температуры в потоке воздуха

Температура воздуха по сечению в набегающем потоке относительно равномерна. Для ее измерения, первая мачта оснащена 4-мя преобразователями, равномерно размещенными по высоте. Цилиндрическое тело эмулятора является неудобообтекаемым. Поэтому, после контакта с исследуемым пакетом воздух турбулизируется и температуры в различных точках потока по сечению может существенно различаться. Для ее интегральной оценки используются три мачты - вертикальная и две горизонтальные с 12-ю первичными преобразователями температуры. На рисунке 5 представлены результаты измерений скорости воздуха в набегающем потоке при $v_{\text{возд}} = 1,5$ м/с и режим теплообмена, характеризующегося разностью температур $\Delta t = 50$ °C.

Как следует из полученных результатов, при низких скоростях движения воздуха и больших температурных напорах, изменение температуры в сечениях существенно

($0,6 \div 1,2$ °C). Тепловой баланс (по уравнению 1) выполняется с погрешностью в 4-9 %, что свидетельствует о достаточном количестве преобразователей.

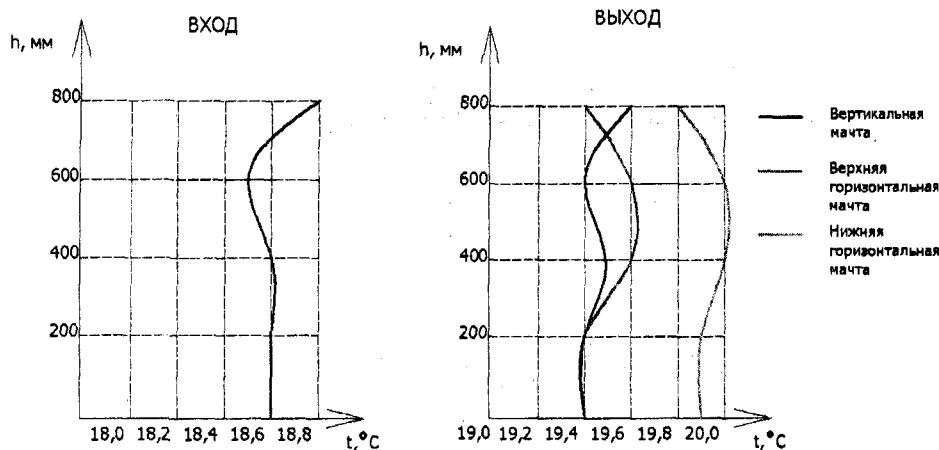


Рисунок 5 - Результаты исследования температуры воздуха до и после контакта с рабочим телом эмульгатора

Воздух в верхнем концентраторе характеризуется более равномерными температурой и скоростью движения. Поэтому для инструментальной оценки достаточно одного первичный преобразователя температуры.

Для численного определения среднеинтегральной скорости движения воздуха в каждом из сечений, авторами разработаны схемы измерения локальных значений (пример для сечения II представлен на рисунке 6, а).

Как видно из полученных результатов (рисунок 7), скорость движения воздуха в развитии потока чуть выше, чем около стенок, за счет работы сил вязкого трения между отдельными струями. Вследствие особенностей конструкции в нижней части теплообменной камеры скорость движения воздуха оказывается чуть выше (точки по высоте VII), однако описанная динамика сохраняется.

Учитывая более равномерный характер распределения скорости движения воздуха в верхнем концентраторе за счет смешанной конвекции, авторами найдены четыре точки, позволяющие определить среднеинтегральное значение. Для удобства размещения чувствительного элемента ТТМ-2, в измерительном кольце предусмотрена соответствующая трубка 7, (рисунок 6, б), в которую также может быть введен чувствительный элемент термоанометра-термометра.

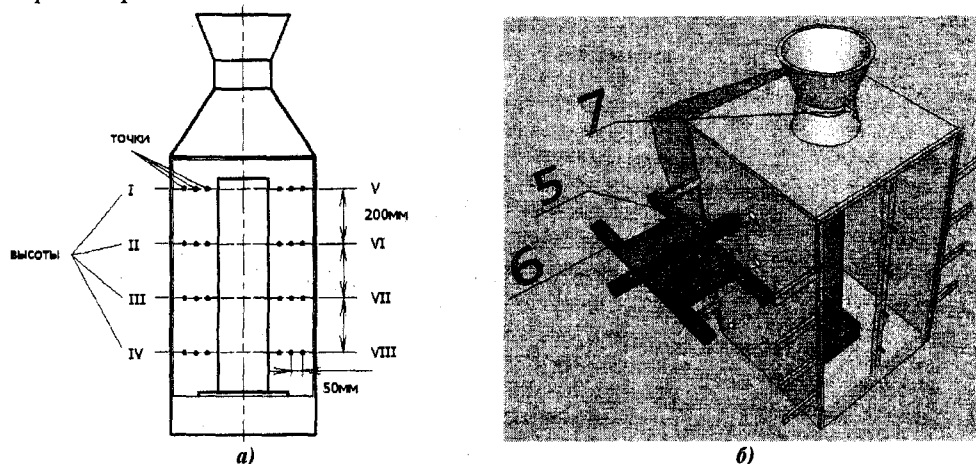


Рисунок 6 - Схема измерения скорости движения воздуха в теплообменной камере

По изменению термодинамических параметров воздуха в сечениях I и III, может быть определена интенсивность теплоотдачи с поверхности исследуемого пакета одежды за счет смешанной конвекции. В этом случае, доли естественной и вынужденной составляющей конвективного теплообмена определяются скоростью обдувающего ветра и режимами теплоотдачи.

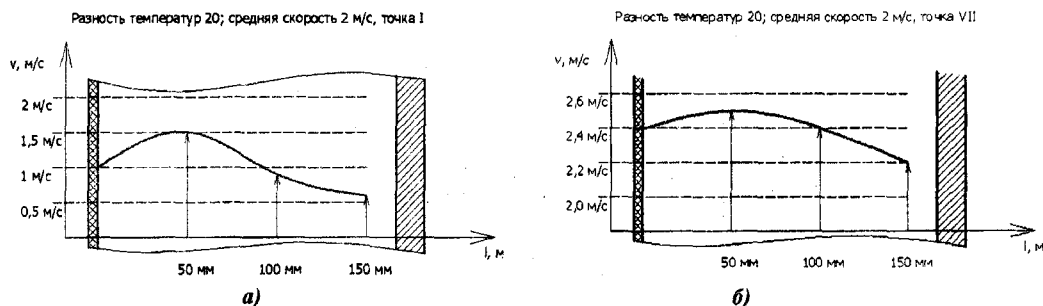


Рисунок 7 - Результаты измерения скорости движения воздуха в аэродинамической камере

Для определения значения каждого из механизмов, необходимо проводить замеры термодинамических параметров воздуха в сечениях I III при работающем и при выключенном вентиляторе, после чего отдельно рассчитать составляющие конвективной теплоотдачи соответственно $Q_{вк}$ $Q_{ек}$ по соотношению (4).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рисунке 8 представлены результаты исследования теплоотдачи с поверхности пакетов одежды одинаковой комплектации. Отличие между ними состоит в том, что воздухопроницаемость верхнего слоя в случае первого пакета ниже, чем для второго.

Как следует из представленных данных, воздухопроницаемость верхнего слоя действительно оказывает влияние на параметры теплоотдачи от тела человека в условиях комбинированного воздействия ветра и пониженных температур. Однако, сравнивая приросты теплоотдачи и поверхности пакета при переходе от 0 м/с до 2 м/с и от 2 м/с до 4 м/с, можно заметить, что в процентном отношении прирост теплоотдачи оказывается выше в первом случае.

Этот прирост оказывается выше, чем различие в величине теплоотдачи, что свидетельствует о том, что в определенных случаях процесс разрушения температурного пограничного слоя вблизи поверхности пакета оказывает большее значение на изменение теплоотдачи, чем величина воздухопроницаемости.

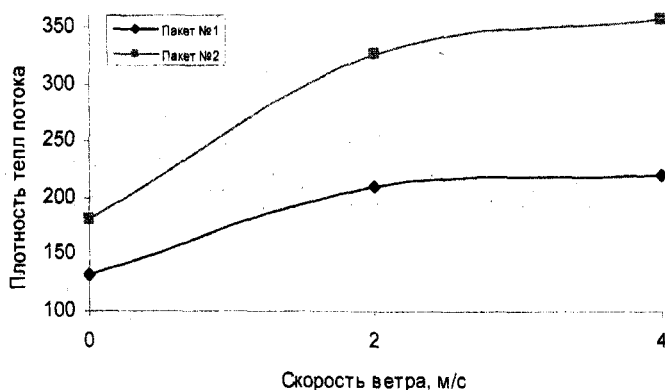


Рисунок 8 - Результаты исследования теплоотдачи с поверхности пакетов одежды различной комплектации

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрены методические проблемы определения численных значений величины конвективного теплообмена. Показано, что авторский подход позволяет решить наиболее актуальные из них за счет определения расхода и прироста энтальпии воздуха при контакте с тепловой моделью тела человека.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что интенсивность теплоотдачи человека определяется не только воздухопроницаемостью верхнего слоя пакета одежды, но и процессом разрушения пограничного слоя на поверхности пакета.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.В. Разработка методики экспериментальных исследований температурных полей в пакетах одежды [Текст] / А.В. Абрамов, М.В. Родичева // Известия вузов. Технология легкой промышленности, 2009. - №4. - С.40-43.
2. Бартон, А. Человек в условиях холода [Текст] / А. Бартон, О. Эдхолм. – Пер.с англ.- М.: Иностранная литература, 1957. – 334 с.
3. Кошечев, В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода [Текст] / В.С. Кошечев // М: Медицина, 1981. – 188 с.
4. Пат. 2205403 Российская Федерация МПК7 G01N33/36 Способ и устройство для определения конвективного теплообмена и скорости испарения влаги в системе «человек - одежда - окружающая среда» [Текст] / А.В. Уваров, А.Г. Уваров; Заявитель: Орловский государственный технический университет № 2002115186/12, опубли. 27.05.2003. Приоритет 06.06.2002 – 14 с.
5. Farrington, R.B. Use of a Thermal Manikin to Evaluate Human Thermoregulatory Responses in Transient, Non-Uniform, Thermal Environments [Text] / R.B. Farrington, J.P. Rugh, D. Bharatan, R. Burke // SAE International - 2004 – 9 p.

Абрамов Антон Вячеславович

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и окружающей среды»

Телефон (4862) 76-14-39

E-mail bgdgtu@mail.ru

Родичева Маргарита Всеволодовна

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология и конструирование швейных изделий»

Телефон (4862) 55-11-20

E-mail tikshi@ostu.ru

A.V. ABRAMOV, M.V. RODICHEVA

MODERN APPROACHES TO AN ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF SPECIAL CLOTHES IN THE CONDITIONS OF A WIND

At heat exchange researches in biotechnical system «the person - clothes - environment» at the compelled convection, there are methodical difficulties of a numerical assessment of components of thermal balance. Authors considered methodical aspects of carrying out similar researches and some results of own researches are given.

Keywords: heat exchange, the aerodynamic chamber, the biotechnical emulator, a wind, natural and compelled convection.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Abramov, A.V. Development of a technique of pilot studies of temperature fields in clothes packages [Text] / A.V. Abramov, M.V. Rodicheva // News of higher education institutions. Technology of light industry. - 2009. - №4. - Pp. 40-43.

- [2] Burton A.C. Man in a cold environment [Text] / A.C. Burton, O.G. Edholm. - London: Arnold, - 1957. - 156 p.
- [3] Koshcheev V. S. Physiology and hygiene of individual protection of the person from cold of [Text] / V.S. Koshcheev / Medicine, 1981. - 188 p.
- [4] Pat. 2205403 RUS MPK7 G01N33/36 Way and the device for definition of convective heat exchange and speed of evaporation of moisture in system «the person - clothes - environment» [Text] / A.V. Uvarov, A.G. Uvarov; Applicant: OSTU No. 2002115186/12, publish. 27.05.2003. prior. 06.06.2002 - 14 p.
- [5] Farrington R.B. Use of a Thermal Manikin to Evaluate Human Thermoregulatory Responses in Transient, Non-Uniform, Thermal Environments [Text] / R.B. Farrington, J.P. Rugh, D. Bharatan, R. Burke // SAE International. - 2004. - 9 p.

Abramov Anton Vyacheslavovich

State university - UNPK. Eagle

Cand. tech. sci., senior lecturer, department «Labor and environmental protection»

Phone (4862) 76-14-39

E-mail: bgdgtu@mail.ru

Rodicheva Margarita Vsevolodovna

State university - ESPC

Cand. tech. sci., senior lecturer, head of the department «Technology and designing of garments»

Phone (4862) 55-11-20

E-mail: tikshi@ostu.ru

УДК 687.174:[331.45: 621

Т.В. КВАСКОВА, А.А. ПАВЛОВСКАЯ, С.А. ФОМИНА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОБЪЕМНЫХ НАКЛАДНЫХ КАРМАНОВ В ВЕРХНЕЙ ОДЕЖДЕ

В статье предложены методы технологической обработки объемных накладных карманов применительно верхней одежды из современных облегченных материалов.

Ключевые слова: ассортимент, облегченный материал, поверхностная плотность, технологическая обработка, унифицированная деталь, деталь кармана, подкладка кармана, КАРМАН-ПОРТФЕЛЬ, оригинальная конструкция.

Одним из основных направлений повышения конкурентоспособности швейных изделий отечественного производства на внутреннем и внешнем рынках можно считать дальнейшее совершенствование и внедрение промышленного проектирования одежды в значительной мере основанное на унификации узлов и деталей с использованием современных компьютерных вариантов создания моделей и качественного конструкторско-технологического исполнения.

Широкое применение комбинаторного художественного проектирования возможно при использовании нескольких конструктивных основ изделия и применения мобильных унифицированных элементов, разнообразных вариативных форм, выразительность которых зависит от поиска вариантов в пределах ограничений, которые определяются конструктивным решением, технологическими приемами, функциональными требованиями и т.д. Комбинаторный дизайнерский принцип варьирования исходной модели «идеи - формы» позволяет использовать современное оборудование, что в свою очередь дает большие возможности достигать разнообразия ассортимента массового производства за счет использования новых технологических приемов, а это имеет большое практическое значение.

Промышленное проектирование сегодня призвано решать разнообразные задачи соединения эстетического совершенства изделий с функциональностью и эргономичностью, а также достижения новой формы посредством применения передовой технологии и новой конструкции отдельно взятого технологического узла, сочетания высоких эстетических требований с уменьшением себестоимости продукции. Пластика форм изделий определяется не только силуэтом и конструкцией, но методами и способами технологической обработки изделия. Использование новых технологических приемов позволяет значительно улучшить и

разнообразить внешний вид изделия. Именно методы обработки позволяют воспроизвести задуманную форму.

Максимальная вариантность формы того или иного технологического узла достигается путем свободного заполнения базовой структуры мобильными элементами, что обеспечивает снижение материальных и трудовых затрат при внедрении моделей соответствующих направлению моды.

Наиболее распространенными и часто используемыми декоративными элементами, способными существенно улучшить и разнообразить внешний вид модели являются карманы гармоничной формы, удобные в эксплуатации изделия. Карманы в одежде создают удобство и комфорт, одновременно являясь декоративным украшением изделия. Однако обработка карманов верхней одежды занимает в среднем 10 % общей трудоемкости изготовления изделия, и поэтому требуют тщательной проработки на стадии промышленного проектирования.

В основе способов обработки карманов лежит использование (в зависимости от применяемого оборудования) различных методов выполнения операций: последовательного, параллельно-последовательного и параллельного. Предпочтение отдается двум последним методам, так как они в наибольшей степени обеспечивают сокращение затрат времени на обработку узла, повышение производительности труда и улучшение качества.

Трендом нескольких модных сезонов являются карманы объемной формы, конструкторско-технологическое решение которых предполагает образования многослойных наложений текстильных полотен, создавая значительные утолщения в швах. Поэтому вполне понятно, что наибольшее распространение карманы типа: карманы-книжки, карманы-портфели получили при изготовлении демисезонной и теплозащитной верхней одежды для различных возрастных и социальных групп населения из плащевых материалов, где эти карманы можно обрабатывать без подкладки, которая в свою очередь также создает дополнительное утолщение. Одежда из плащевых материалов пользуется устойчивым потребительским спросом, что связано как с наблюдаемыми климатическими изменениями, более низкой ценой готовых изделий по сравнению с одеждой из шерстяных тканей, так и с разнообразием предлагаемых моделей.

Тем не менее, в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к применению облегченных шерстяных тканей для верхнего ассортимента. Снижение поверхностной плотности и толщины влечет за собой изменение технологических методов обработки узлов швейных изделий, что позволяет производить различные виды одежды на одном технологическом процессе. Сближение технологии изготовления различных изделий создает возможность организации потоков, специализирующихся на выпуске различных видов продукции в соответствии с требованиями рынка в зависимости от сезона, что создает благоприятные условия для промышленного проектирования одежды.

Согласно стандарту ГОСТ 28000 – 2004 «Ткани одежные чистошерстяные, шерстяные и полушерстяные. Общие технические условия», ткани с пониженной поверхностной плотностью (ППП) выделены в отдельную группу, объемы их производства и потребления возрастают.

Проведенные нами промеры толщин плащевых материалов торговой марки «Оксфорд», типового драпа и драпа (ППП) показали соответственно численные значения: 0,2; 2,2, 1,3 мм. Для тканей пальтового назначения пониженной поверхностной плотности групп камвольных, камвольно-суконных, тонкосуконных фланелей толщины составили 1,2; 1,3; 1,4 мм, что ниже типовых полотен в среднем на 0,5 мм. Это позволяет применять объемные карманы на подкладке в верхнем ассортименте одежды с использованием текстильных материалов различного волокнистого состава. Необходимо отметить, что ранее объемные карманы в пальтово-костюмном ассортименте не использовались из-за того, что невозможно было обработать их подкладкой, а следовательно все швы деталей были открытыми, что не допустимо при обработке верхнего ассортимента.

Разработанные нами примеры оригинальных конструкций накладных карманов-портфелей на подкладке для изготовления верхнего ассортимента, обработанных параллельно-последовательными методами, приведены на рисунке 1.

Для изготовления предложенных узлов были использованы следующие материалы: основная ткань – полшерстяная тонкосуконная поверхностной плотности – 360 г/м^2 , толщиной 1,4 мм; подкладочная ткань из полиэфирных комплексных нитей полотняного переплетения поверхностной плотности 60 г/м^2 , толщиной 0,1 мм, швейные нитки для обработки 44 ЛХ. При необходимости дублирования входа в карман может быть использовано полотно нетканое термоклеевое с сополимерным покрытием поверхностной плотностью 40 г/м^2 , толщиной 0,3 мм.

Припуски по боковым и нижнему срезам накладных карманов заутюживаются на изнаночную сторону.

Последовательность выполнения технологических операций по сборке трех карманов-портфелей показана нумерацией строчек 1...6 на рисунке 1.

Обработка входа в карман у всех трех карманов идентична. По верхнему срезу в продольном направлении заутюживаем припуск шириной 3 см и прокладываем строчку 1. Объемность срезов карманов достигнута за счет применения подкройной обтачки, срезы которой закрываются полоской подкладочной ткани, выкроенной под углом 45° . Обтачка притачивается к боковым и нижнему сторонам кармана в готовом виде (сгиб). Шов притачивания обтачки настрачиваем в край, прокладывая строчку со стороны кармана. Различие состоит в способах соединения обтачки с подкладкой кармана (варианты 1...3), соединение которых выполняется в каждом случае индивидуально.

По разметке настрачиваем карман на основную деталь, прокладывая строчку в край по боковой детали кармана.

По обработке каждого вида кармана (рисунки 1, 1...3) была составлена последовательность обработки и рассчитана трудоемкость обработки каждого из предложенных методов.

Трудоемкость методов обработки карманов-портфелей представлена в виде гистограммы на рисунке 2, из гистограммы следует, что обработка кармана состоит из трех этапов: обработки входа в карман; обработка нижнего и боковых срезов (соединение обтачки с подкладкой); соединение кармана с изделием.

Первый этап - обработка входа в карман и третий - соединение карманов с изделием во всех трех случаях во временном интервале одинаковы и составляют, соответственно, 16 с и 75 с. Основные затраты времени приходятся на второй этап обработки – соединение подкладки кармана с обтачкой. Время обработки на этом отрезке колеблется от 92 с до 106 с, что составляет различие в 14 с. Расчеты показали, что средняя трудоемкость обработки объемного накладного кармана составила 190 с, а это на 20 с меньше, чем время обработки кармана на подкладке по традиционной технологии. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что применение прогрессивных методов обработки, использование унифицированных деталей, выбора плавного контура - способствует быстрой ориентации и перемещению деталей в процессе обработки. Повышение уровня технологичности проектируемых узлов позволило минимизировать затраты труда на обработку более сложных карманов, содержащих большее количество технологически неделимых операций.

Предложенная технология, с использованием унифицированных, технологически однородных деталей позволит обрабатывать карманы данного вида в различных ассортиментных группах в одном технологическом потоке, что также значительно расширит вариативные возможности моделей и максимально использовать имеющееся в наличии оборудование. Применение подкладки позволяет закрыть швы, тем самым, предохраняя их от осыпания, что характерно для современных облегченных тканей.

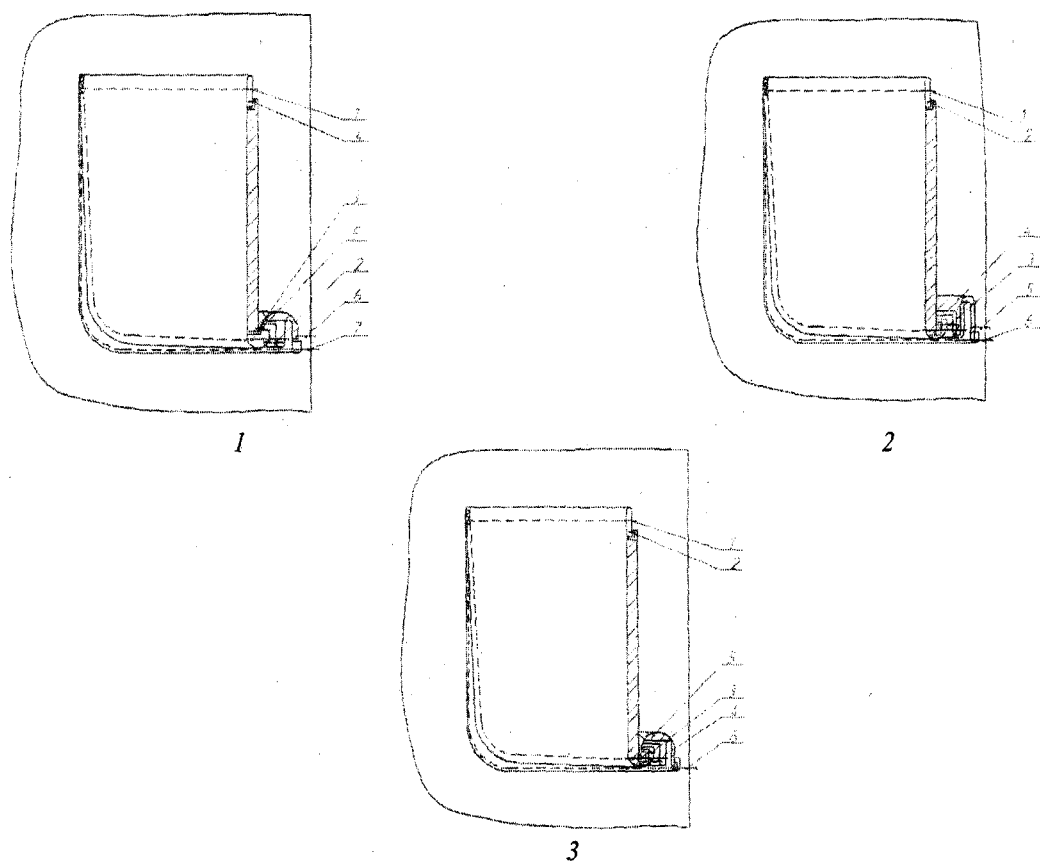


Рисунок 1 – Технологические схемы сборки карманов: 1 – без подгиба подкладки; 2 – одновременное притачивание бейки и обтачки к подкладке; 3 – одновременное притачивание бейки и подкладки к обтачке

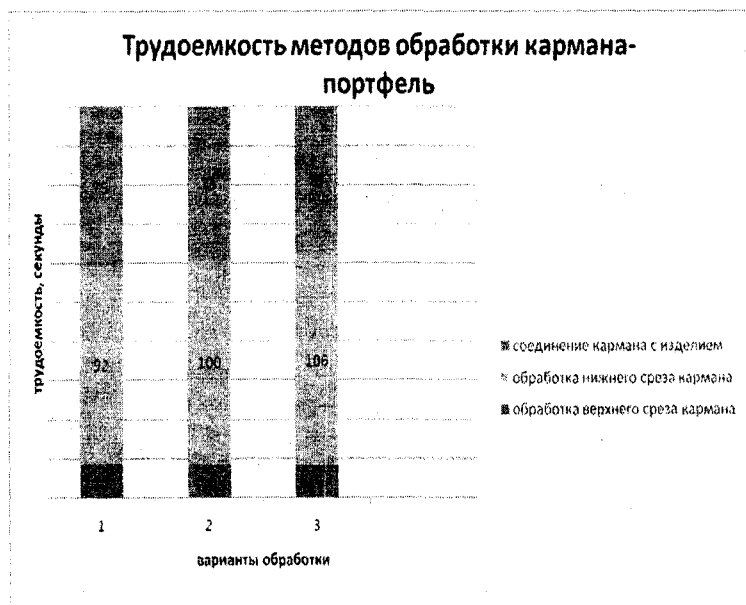


Рисунок 2 – Гистограмма трудоемкости карманов-портфелей

На рисунке 3 приведен вид объемного накладного кармана с оригинальным конструкторско-технологическим решением. Карман разработан на основе накладного кармана немецкого модельера Манфреда Зайделя.

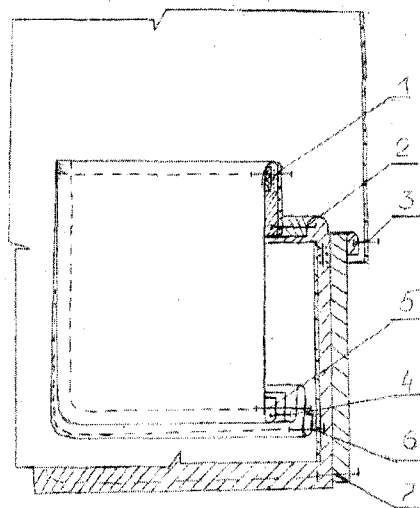


Рисунок 3 – Технологическая схема сборки кармана-портфеля с мешковиной, расположенной на изнаночной стороне полочки

Уникальность предлагаемой технологии накладного кармана состоит в том, что обе части подкладки кармана располагаются на изнаночной стороне изделия.

Технология этого кармана имеет ряд отличий от традиционной технологии обработки накладного кармана:

- деталь кармана соединяется с изделием притачивающей строчкой, которая прокладывается с изнаночной стороны;
- подкладка кармана располагается на изнанке изделия, а не на лицевой стороне, как принято при обработке накладных карманов;
- карман, при желании потребителя, может иметь потайной карман для визитных карточек.

При обработке кармана требуется соблюдение некоторых рекомендаций:

- нижние углы кармана должны обязательно иметь закругления, а радиус кривизны должен быть достаточным (не менее 40 мм) для обеспечения качественного притачивания кармана с изнаночной стороны (чем больше радиус кривизны нижних углов кармана, тем проще его выполнение);
- в области верхнего среза ширина кармана не должна быть менее 16 см в готовом виде;
- для разметки расположения кармана на изделии в пошивочном цехе необходимы два вспомогательных лекала: отметловочное и лекало-шаблон с линией прореза.

Применение предложенных карманов, дает возможность использования декоративных пат, клапанов самой разнообразной формы, что позволит получить максимальную вариативность технологических узлов – карманов, а, следовательно, добиваться новой формы в верхнем ассортименте при этом применяя ткани с пониженной поверхностной плотностью.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 28000 – 2004 Ткани одежные чистошерстяные, шерстяные и полушерстяные. Общие технические условия [Текст] – М.: СтандартИнформ, 2006. - 16 с.
2. ГОСТ 12023 – 2003 (ISO 5084 : 1996) Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины [Текст] – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. - 12 с.
3. Методические рекомендации № 2001/73 от 16.04.2001 г.
4. Кваскова, Т.В. Конструирование и технология изготовления брюк [Текст] / Т.В. Кваскова. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 188 с.
5. Ганулич, А.А. Совершенствование технологии изготовления одежды за счет применения современного швейного оборудования [Текст] / А.А. Ганулич
6. http://www.shveymash.ru/articles/sovershenstvovanie_tekhnologii_izgotovleniya_odezhdy_za_schet_prime_neniya_sovremennogo_shvey_nogo_oborudovaniya.html [Электронный ресурс]

Кваскова Тамара Викторовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Павловская Алла Александровна
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Фомина Светлана Алексеевна
Старший преподаватель кафедры ТиКШИ
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

T.V. KVASKOVA, A.A. PAVLOVSKAYA., S.A. FOMINA

TECHNOLOGICAL PROCESSING OF VOLUMOUS PUT – OVER POCKET IN UPPER CLOTHES

The orethods of a technological processing of volumous put – over pocket in upper-clothes made of modern faceletateol fabrics are offered in article

Key words: range, faceletateol fabrics, surface density, technological processing, unified etem, pocket item, pocket – suitcase, original design

BIBLIOGRAPHY

- [1] Standard State 28000-2004 Clothing Fabrics, woollen and half-woollen. General technical conditions [Text] - M.: StandartInform, 2006.
- [2] Standard State 12023-2003 (ISO 5084: 1996) Textile Materials and articles there of. Method for determination of thickness [Text] -M.: IEC standards Publishing House, 1996. - 12 p.
- [3] Methodical recommendations №. 2001/73 on 16.04.2001.
- [4] Kvaskova, T.V. Engineering and manufacturing of pants [Text] / T.V. Kvaskova. - Orel: OrelGTU, 2009. – 188 p.
- [5] Ganulich, A.A. Improvement of technologies for production of clothes through the use of a modern sewing equipment [Text] / A.A. Ganulich
- [6] http://www.shveymash.ru/articles/sovershenstvovanie_tekhnologii_izgotovleniya_odezhdy_za_schet_pri_meneniya_sovremennogo_shvey_nogo_oborudovaniya.html

Kvaskova Tamara Viktorovna
Cand.tech.Sci., the senior lecturer of faculty TiKSHI
FSEI HBO "State University-educational-scientific-production complex»
Phone. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Pavlovskaya Alla Aleksandrovna
Cand.tech.Sci., the senior lecturer of faculty TiKSHI
FSEI HBO "State University-educational-scientific-production complex»
Phone. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

Fomina Svetlana Alekseevna
senior lecturer TiKSHI
SEI HBO "State University-educational-scientific-production complex»
Phone. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: tikshi@ostu.ru

В. П. КОРЯЧКИН, М.А. НИКОЛАЕВА, Т.В. МАТВЕЕВА, Н.П. САПРОНОВА

ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕКЕРНОГО ТЕСТА С ЗАМЕНОЙ ЧАСТИ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ КУКУРУЗНОЙ

В статье приведены результаты реометрии образцов крекерного теста с кукурузной мукой, определены оптимальные дозировки кукурузной муки взамен пшеничной при производстве крекеров.

Ключевые слова: реометрия, кривые течения, вязкость крекерное тесто, кукурузная мука, производство крекеров.

Перспективным объектом для формирования ассортимента продуктов с функциональными свойствами является группа мучных кондитерских изделий, так как они являются ежедневным компонентом пищевого рациона за счет сложившихся традиций в структуре питания населения России.

Применение нетрадиционных видов сырья в производстве продуктов питания и, в частности, кондитерских изделий, является актуальным направлением. Сырье растительного происхождения (порошки, соки, экстракты, пюре из овощей и фруктов, выжимки, семена) позволяет расширить ассортимент, снизить себестоимость, повысить выход продукции, придать изделиям функциональные свойства и интенсифицировать технологический процесс.

В кукурузной муке содержатся сахара, витамины группы В, РР, минеральные соли калия, железа, фосфора, кальция, магния, каротина, крахмала. По своим питательным и полезным свойствам эта мука гораздо лучше, чем пшеничная или любая иная.

Ее использование помогает восстановить работу кишечника и желудка, нормализует внутреннюю микрофлору. Даже несмотря на то, что в ней гораздо выше индексы кислотности, жирности и калорийности, кукурузная мука обладает высокими вкусовыми качествами, способствует нормализации уровня холестерина в крови и состояния кровеносных сосудов.

Реологические свойства крекерного теста с кукурузной мукой в количестве 10, 20, 30, 40 и 50 %, определяли с помощью метода капиллярной вискозиметрии.

По результатам исследования сдвигового течения образцов крекерного теста с кукурузной мукой были построены кривые течения – зависимости касательного напряжения θ от скорости сдвига D . На рисунке 1 представлены экспериментальные точки кривых течения образцов крекерного теста $\lg \theta = \lg \theta(\lg D)$, изображенные в логарифмических координатах.

Кривые течения всех образцов крекерного теста с кукурузной мукой, включая и контрольный образец, имеют одинаковый характер кривизны графиков, кривизна которых обращена в сторону оси скорости сдвига. Линией тренда, проведенной для контрольного образца, продемонстрировано направление кривизны графиков. Такой характер кривых течения образцов крекерного теста позволяет отнести образцы теста с кукурузной мукой к пластично – вязким реологическим средам.

Из рисунка 1 видно, что с увеличением содержания кукурузной муки в образцах крекерного теста происходит увеличение касательного напряжения при соответствующих постоянных значениях скорости сдвига.

По численным значениям экспериментальных точек кривых течения были рассчитаны зависимости вязкости образцов крекерного теста от скорости сдвига, которые представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что с увеличением содержания кукурузной муки от 0 до 50 % в образцах крекерного теста происходит увеличение вязкости η , при этом графики вязкости смешаются в область больших значений η при меньших скоростях сдвига.

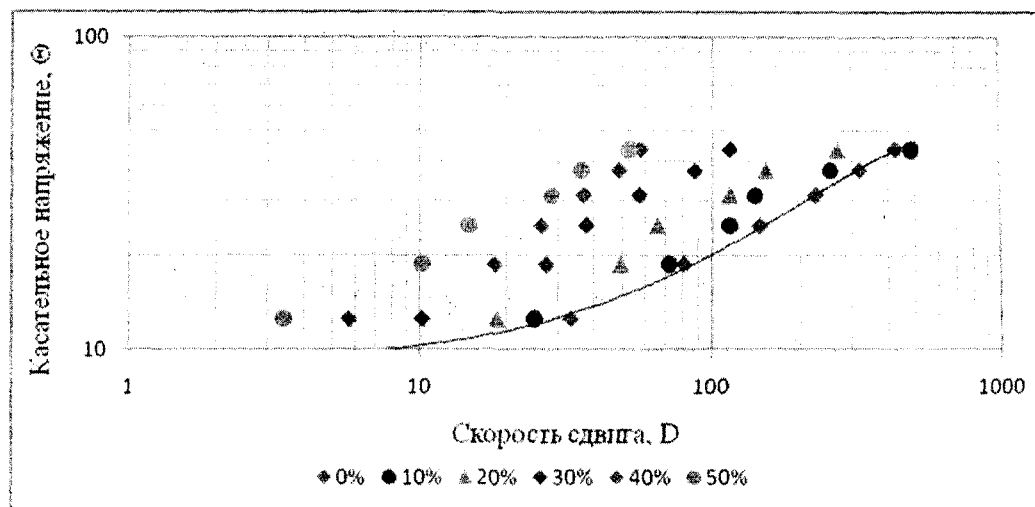


Рисунок 1 – Кривые течения образцов крекеры теста $\lg \theta = \lg \theta(\lg D)$ с содержанием кукурузной муки в количестве: 0 (контроль), 10, 20, 30, 40 и 50 %

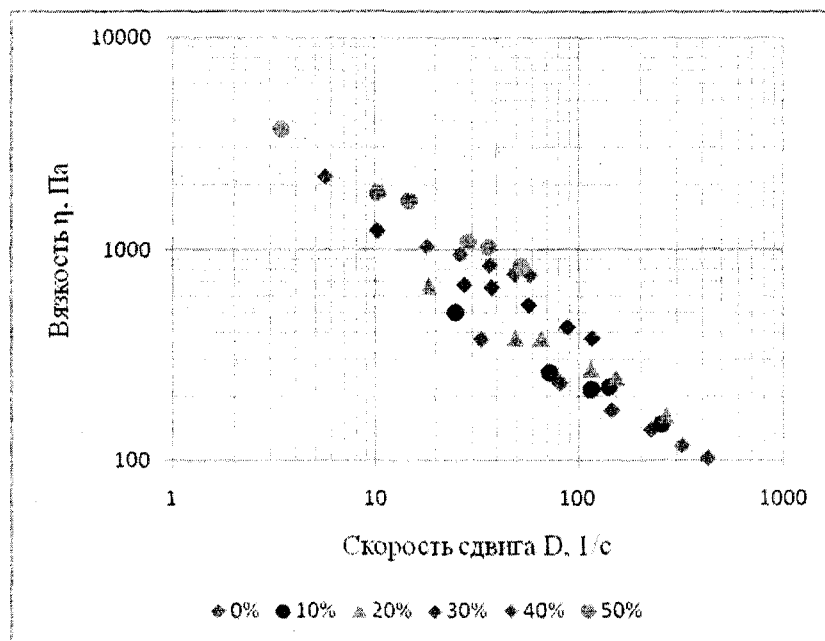


Рисунок 2 – Зависимости вязкости образцов крекеры теста $\lg \eta = \lg \eta(\lg D)$ с содержанием кукурузной муки в количестве: 0 (контроль), 10, 20, 30, 40 и 50 %

Характер кривых течения исследованных образцов теста, изображенных в логарифмических координатах, позволил отнести все исследованные образцы крекеры теста с кукурузной мукой к неньютоновским твердообразным средам, обладающим пластическими свойствами, и выбрать реологическое уравнение состояния для описания сдвигового течения данных образцов крекеры теста:

$$\theta = \theta_0 + kD^n \quad (1)$$

где

- θ - касательное напряжение сдвига, Па;
- θ_0 - предел текучести теста для соответствующих участков кривых течения, Па;
- k - коэффициент консистенции, Па·с⁻ⁿ
- D - скорость сдвига, с⁻¹;
- n - индекс течения.

Математическая обработка результатов эксперимента, в частности, кривых течения, позволила определить численные значения параметров их реологических уравнений.

В таблице 1 представлены численные значения параметров реологического уравнения состояния образцов крекерного теста, содержащего кукурузную муку.

Таблица 1 - Реологические характеристики образцов крекерного теста, содержащих кукурузную муку

Образцы крекерного теста с кукурузной мукой, %	Параметры реологического уравнения состояния $\theta = \theta_0 + kD^n$		
	Предел текучести, θ_0	Коэффициент консистенции, k	Индекс течения, n
	кПа	Па·с ⁻¹	-
0	3,1	1,25	0,575
10	3,8	2,3	0,554
20	3,62	2,5	0,588
30	3,41	2,94	0,604
40	2,74	2,74	0,669
50	1,6	1,93	0,765

На рисунке 3 изображены графические зависимости параметров реологического уравнения состояния крекерного теста от содержания в нем кукурузной муки.

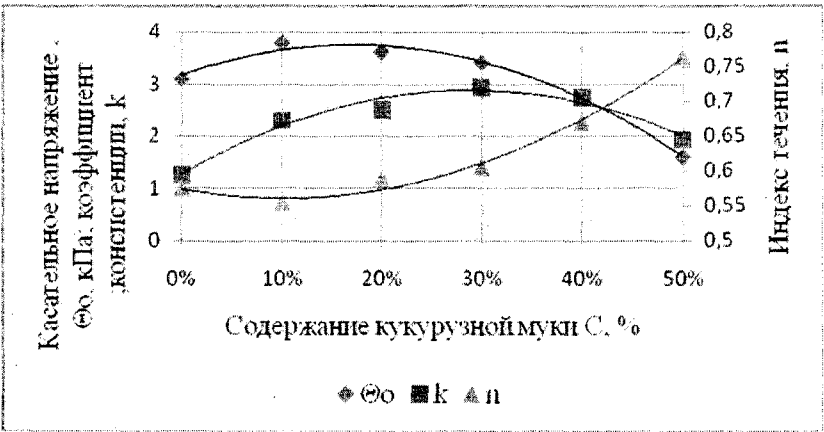


Рисунок 3 – Влияние содержания кукурузной муки на реологические характеристики крекерного теста

Из рисунка 3 видно, что в области 50 % содержания кукурузной муки в крекерном тесте коэффициент консистенции k имеет значение близкое контрольному образцу. При этом предел текучести θ_0 несколько понизился, а индекс течения n увеличился. Пробная выпечка

опытных образцов показала, что крекеры с содержанием кукурузной муки в количестве 50 % имели наилучшие показатели качества.

На основании реологического уравнения состояния получена аналитическая зависимость вязкости крекерного теста от содержания в нем кукурузной муки:

$$\eta = \frac{\theta_0}{D} + kD^{n-1}, \quad (2)$$

где $\theta_0 = -19,55C^2 + 6,852C + 3,158$

$k = -19,46C^2 + 11,20C + 1,259$

$n = 1,266C^2 - 0,258C + 0,574$

Выпечка образцов показала, что крекеры с содержанием 50 % кукурузной муки имели наилучшие качественные показатели: намокаемость, прочность, кислотность, выход (таблица 2).

Анализ полученных данных показал, что при замене пшеничной муки кукурузной мукой суммарная оценка качества увеличивается. При замене 10; 30; 40 и 50 % пшеничной муки кукурузной суммарная оценка выше на 0,8; 1,2; 1,2 и 0,4 % соответственно. При внесении 20 % кукурузной муки суммарная оценка уменьшается на 0,4 %. Изделия с добавлением кукурузной муки приобретают приятный вкус и золотистый цвет, становятся более хрустящими.

Оптимальным выбран образец крекера с 50 % кукурузной муки. Образцы крекера с данной дозировкой обладают наиболее высокими физико – химическими показателями. Также они превосходят контрольный образец по органолептическим показателям – имеют приятный вкус, золотистый цвет, становятся более хрустящим.

Таблица 2 – Показатели качества крекера с кукурузной мукой

Дозировка кукурузной муки, %	Массовая доля влаги теста, %	Массовая доля влаги в готовых изделиях, %	Кислотность, град.	Намокаемость, %	Прочность, Н	Выход, %
0	26	6	0,8	178	57,00	73,3
10	26	6,7	1,2	163,6	32,3	73,3
20	25,8	6,6	1,2	186,3	24	73,5
30	25,7	6,6	0,8	207,3	37,2	73,6
40	25,5	6,6	0,8	179,4	40,25	73,9
50	25,3	6,6	0,8	220,5	40,9	74,0

На рисунке 4 представлена суммарная оценка крекера с содержанием кукурузной муки.



Рисунок 4 – Суммарная оценка качества крекеров с кукурузной мукой

Таким образом, на основании проведенных исследований и учета качественных характеристик готовых изделий установлено оптимальное количество внесения кукурузной муки взамен пшеничной в крекерное тесто в количестве 50 %.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 213 с.
2. Николаев, Б.А. Структурно-механические свойства мучного теста [Текст] / Б.А. Николаев. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 137 с.
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»

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65
Тел. (4862) 55 11 87

E-mail: mapp@ostu.ru

Матвеева Татьяна Владимировна

научный сотрудник

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
кафедра «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства»
302030, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 55 11 87; 8 920 828 90 43
E-mail: natkasap888@mail.ru

Николаева Мария Андреевна

Российский Государственный Торгово-Экономический Университет

Доктор технических наук, профессор, и. о. заведующего кафедрой «Товароведения и экспертиза товаров»
125993, г. Москва, ул. Смольная, д.36
Тел. (495) 660-19-32;

E-mail: mail@rsute.ru

Сапронова Наталья Петровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
Аспирант кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства»
302030, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 55 11 87; 8 920 828 90 43
E-mail: natkasap888@mail.ru

V.P. KORYACHKIN, M.A. NIKOLAEVA, T.V. MATVEEVA, N.P. SAPRONOVA

CHANGE OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF KREKERNOGO OF DOUGH WITH REPLACEMENT OF THE PART OF WHEAT FLOUR CORN

Results of a reometriya of samples of krekerly dough are given in article with a corn flour, optimum dosages of a corn flour instead of wheaten are defined by production of crackers.

Keywords: reometriya, curve currents, viscosity krekerly dough, corn flour, production of crackers.

REFERENCES:

- [1] Machikhin, Y.A. Engineering rheology of food materials [Text] / Y.A. Machikhin, S.A. Machikhin. - Moscow: Light and Food Industry, 1981 - 213 p.
- [2] Nikolaev, B.A. Structural and mechanical properties of flour dough [Text] / B.A. Nikolaev. - Moscow: Food Industry, 1976. - 137 p.
- [3] Rheometry of food raw materials and products [Text] / Ed. Y.A. Machikhina. - M: TO Agropromizdat, 1990. - 189 p.

Koryachkin Vladimir Petrovitch

FGBOU VPO «The state university – educational scientific-industrial complex»

Doctor of Engineering, professor, head of the department «Cars and devices of food productions»

302030, Orel, Moskovskaya St., 65

Ph. (4862) 55 11 87

E-mail: mapp@ostu.ru

Matveeva Tatiyana Vladimirovna, research associate

FGBOU VPO «The state university – educational scientific-industrial complex»

chair «Technology of baking, confectionery and macaroni production»

302030, Orel, Naugorskoye Highway, 29

Ph. (4862) 55 11 87; 8 920 828 90 43

E-mail: natkasap888@mail.ru

Nikolaeva Mariya Andreevna

Russian State Trade and Economic University

Doctor of Engineering, professor, acting as head of the department «Tovarovedenie and examination of the goods»

125993, Moscow, Smolnaya St., 36

Ph. (495) 660-19-32;

E-mail: mail@rsute.ru

Sapronova Natalya Petrovna

FGBOU VPO «The state university – educational scientific-industrial complex»

Graduate student of chair «Technology of baking, confectionery and macaroni production»

302030, Orel, Naugorskoye Highway, 29

Ph. (4862) 55 11 87; 8 920 828 90 43

E-mail: natkasap888@mail.ru

УДК 629.73(09)

В.П. ИВАНОВ

ВКЛАД Н.Н. ПОЛИКАРПОВА В РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассматривается вклад выдающегося авиаконструктора Николая Николаевича Поликарпова в развитие авиационной науки, техники и технологии. Перечислены основные научно-технические и технологические проблемы, решению которых посвятил свою жизнь конструктор.

Ключевые слова: авиация, история, авиационная наука и техника.

Выдающийся авиаконструктор Николай Николаевич Поликарпов (1892-1944 гг.) сыграл большую роль в развитии отечественной авиации. Долгие годы авиапромышленность страны выпускала самолеты его конструкций, ими не одно десятилетие оснащались Военно-воздушные силы СССР, Гражданский воздушный флот. Самолеты Поликарпова применялись во всех войнах и вооруженных конфликтах с середины двадцатых до середины сороковых годов, защищали небо страны в годы Великой Отечественной войны. Нелишне отметить, что первые поставляемые за рубеж самолеты СССР и строившиеся там серийно, также являлись конструкциями Поликарпова.

В этой связи интересно отметить, как сам Поликарпов оценивал свой вклад в развитие отечественного самолетостроения. Во время подготовки документов в 1943 году для избрания в действительные члены Академии наук СССР он составил перечень успешно решенных им за период с 1918 по 1943 гг. крупнейших научно-исследовательских проблем. В их число Николай Николаевич включил:

- 1) разработку в 1920-1921 гг. обтекаемых зимних лыж для тяжелых самолетов («Илья Муромец», ДН-4);
- 2) создание в 1923-1924 гг. первого в СССР истребителя-моноплана свободонесущей схемы (И-1);
- 3) создание первой в СССР конструкторской организации по опытному самолетостроению, основанной на специализации отдельных этапов проектирования;
- 4) разработка методики проектирования, постройки и испытания опытных машин (1923-1925 гг.);
- 5) разработка в 1923-1926 гг. первой в СССР методики расчета самолетов на прочность, а также методики производства статических испытаний;
- 6) разработка методики расчета продольной статической устойчивости самолета (1924-1926 гг.);
- 7) исследования штурманских свойств (1925-1929 гг.);
- 8) освоение (впервые в СССР) отечественного дюралюминия и использования его в конструкциях самолетов (1923-1926 гг.);
- 9) разработка принципов установки (впервые в СССР) всех типов отечественного авиационного стрелкового и пушечного оружия (ПВ-1, ШКАС, ШВАК-12,7 мм, ШВАК-20 мм, УБС и др.) и освоение его в серийных конструкциях;
- 10) решение (первым) проблемы установки всех новых отечественных авиамоторов, а также некоторых зарубежных;
- 11) создание первого в СССР фанерного фюзеляжа типа монокок;
- 12) создание безопасного для полетов самолета первоначального обучения У-2;
- 13) разработка рациональных типов капотов для моторов М-22, М-25, М-62, М-88, М-90, М-82, М-71;

- 14) создание убирающегося в полете шасси для истребителя-моноплана и биплана;
- 15) создание первого в мире убираемого лыжного шасси для истребителя-моноплана и биплана;
- 16) первая в мире установка синхронного пушечного оружия;
- 17) первая в СССР установка синхронного крупнокалиберного вооружения;
- 18) установка и отработка в воздухе (впервые в СССР) авиационных пушек калибра 37 мм;
- 19) разработка подвесных пулеметных батарей для истребителей;
- 20) разработка и освоение в серийном производстве сбрасываемых в полете бензобаков из недефицитных материалов (железо, фанера, фибра и др.);
- 21) разработка высотных самолетов; первый в СССР мировой рекорд высоты 14475 м (летчик В.К. Коккинаки, самолет И-15);
- 22) разработка в 1937-1939 гг. гермокабин различной конструкции;
- 23) установка (впервые в СССР) пушек, стреляющих через полый вал редуктора мотора жидкостного охлаждения;
- 24) создание первого в СССР мотопланера большого тоннажа (МП);
- 25) создание первой в мире скрытой в фюзеляже антенны для истребителя (И-185).

В этом достаточно скромно составленном списке перед нами проходит практически вся история отечественного самолетостроения 1918-1944 гг.

По разным причинам Николай Николаевич не включил в этот перечень ряд других своих достижений, оставивших заметный след в истории отечественной авиации. Поэтому продолжим его, выделив из многочисленных результатов многогранной яркой деятельности наиболее значимое:

- 26) разработка и внедрение в производство технологии клееных авиационных конструкций (1917-1935 гг.);
- 27) разработка и внедрение в массовое производство технологии изготовления деревянных фюзеляжей типа «монокок» (И-16, 1933-1934 гг.);
- 28) разработка технологии производства дюралевых конструкций самолетов (1922-1943 гг.);
- 29) разработка (впервые в СССР) технологии сварных авиационных конструкций (фюзеляж, крылья, оперение) из дюралюминия (1927-1929 гг.) для нового истребителя И-7 своей конструкции;
- 30) методика проектирования статически определимых авиационных конструкций (1921-1928 гг.);
- 31) методика летных испытаний и доводки авиационных моторов небольшой мощности (М-11, 1927-1928 гг.);
- 32) решение проблемы установки на истребителях турбокомпрессоров (впервые в СССР, 1935-1939 гг.);
- 33) методика выбора проектных параметров истребителей (1927-1944 гг.);
- 34) методика прогноза характеристик самолетов (1917-1944 гг.);
- 35) разработка аэродинамических профилей с хорошими несущими свойствами;
- 36) разработка (впервые в СССР) специализированного самолета для борьбы с танками ВИТ-1 (1935-1938 гг.);
- 37) установка (впервые в СССР) авиационного оружия на лафете (И-180, 1939 г.);
- 38) применение открытых профилей в клепанных авиационных конструкциях; разработка соответствующей технологии производства;
- 39) разработка и постройка первого в СССР двухместного истребителя 2ИИ-1 (1924-1926 гг.);
- 40) создание первых в СССР самолетов-штурмовиков (1924-1932 гг.): Р-1Ш, Р-5Ш, ЛШ, ТШ-2 и др.;
- 41) методика проектирования истребителя с высокой (более 220 кг/кв. м) удельной нагрузкой на крыло (И-185, 1940 г.) (впервые в СССР);

42) разработка и внедрение методов сетевого планирования для производства опытных авиационных конструкций (1939-1940 гг.);

43) разработка и внедрение технологии агрегатной сборки самолетов (1939-1944 гг.);

44) разработка и внедрение в авиапромышленность СССР перспективных технологий массового производства (литье, штамповка, технология изготовления деталей из пластмасс и др.) (1933-1944 гг.);

45) организация опытных работ в авиапромышленности (КБ с соответствующим опытным заводом) (1926 г. – Отдел сухопутного опытного самолетостроения ЦКБ и ГАЗ №25 в качестве опытной производственной базы);

46) разработка и внедрение в серийное и массовое производство основных типов боевых самолетов ВВС СССР (Р-1, Р-5, И-3, И-5, И-15, И-15бис, И-153, И-16, МиГ-1, У-2) и самолетов для Гражданского воздушного флота (Р-1, ЛР-5, У-2 с модификациями);

47) методика проектирования ракетного истребителя объектовой обороны («Малютка», 1943-1944 гг.);

48) методика проектирования крылатых ракет (1943-1944 гг.);

49) анализ текущего состояния и оценка перспектив развития германской авиапромышленности (1939-1940 гг.);

50) подготовка авиационных специалистов; разработка учебников и учебных пособий;

51) исследование истории конструкций самолетов дореволюционной России и СССР; подготовка рукописи соответствующей книги.

Разумеется, этот перечень можно продолжать и продолжать.

Обратимся, например, к воспоминаниям ведущего конструктора истребителя И-185 Василия Ивановича Тарасова об истории проектирования и постройки этой машины: *«Впервые в отечественном самолетостроении был создан сквозной график разработки рабочих чертежей, изготовления деталей и узлов, а также поставки готовых приборов и агрегатов, вооружения смежными предприятиями. Это был словно предвестник современной АСУ. Чертежи и документация предусматривали технологию изготовления методом агрегатирования, для чего самолет был разбит на несколько крупных агрегатов и отдельных узлов. Собранный мотоотсек крепился к фюзеляжу четырьмя болтами, собранный центроплан с шасси и бензобаком - десятью болтами, собранный отсек вооружения - четырьмя болтами и т.д.»*

Остается только сожалеть о том, как мало прожил Поликарпов. Высокая культура его личности, глубокими корнями уходящая в тысячелетнюю историю России, блестящее образование, эрудиция, уважительное отношение к людям, к их труду – вот тот фундамент, на котором вырос талант гениального конструктора.

Правительство высоко оценило его заслуги.

Отмечая значительный вклад Николая Николаевича Поликарпова в развитие отечественного самолетостроения, в 1940 г. ему было присвоено звание главного конструктора первой степени.

В сентябре 1940 г. Высшая аттестационная комиссия Всесоюзного комитета по делам высшей школы при СНК СССР присвоила ученую степень доктора технических наук без защиты диссертации авиаконструкторам А.А. Архангельскому, С.В. Ильюшину, Н.Н. Поликарпову, П.О. Сухому, А.С. Яковлеву. Та же Комиссия утвердила Н.Н. Поликарпова в ученом звании профессора.

Поликарпову в числе первых было присвоено высокое звание «Герой Социалистического Труда». В октябре 1940 г. был опубликован Указ Президиума Верховного Совета СССР. Его текст гласил:

«За выдающиеся достижения в области создания новых типов вооружения, поднимающих оборонную мощь Советского Союза, присвоить звание Героя Социалистического Труда и вручить Орден Ленина и Золотую Медаль «Серп и Молот»:

1. Токареву Федору Васильевичу (по стрелковому вооружению).

2. Поликарпову Николаю Николаевичу (по самолетам).

3. Шпитальному Борису Гавриловичу (по авиавооружению).
4. Грабину Василию Гавриловичу (по артиллерии).
5. Яковлеву Александру Сергеевичу (по самолетам).
6. Микулину Александру Александровичу (по авиадвигателям).
7. Климову Владимиру Яковлевичу (по авиадвигателям).
8. Иванову Илье Ивановичу (по артиллерии).
9. Крупчатникову Михаилу Яковлевичу (по артиллерии)».

12 ноября 1940 г. орден Ленина и Золотую медаль «Серп и Молот» за номером 4 Поликарпову вручил М.И. Калинин.

Без преувеличения можно сказать, что Поликарпов – целая эпоха в истории отечественной авиации. Пройдемся, например, по залам музеев предприятий, чье становление или развитие неразрывно связано с деятельностью конструктора, и о чем свидетельствуют соответствующие экспозиции: завод №30, завод «Прогресс», завод «Сокол», завод и КБ им. А.И.Микояна, ОАО «Сухой», «Северный завод», Научно-производственное объединение машиностроения, Новосибирский авиационный завод и др.

Практику работы в конструкторском бюро Н.Н. Поликарпова прошли многие генеральные и главные конструкторы, видные деятели науки и техники. В их числе М.Р. Бисноват, А.Г. Брунов, М.И. Гуревич, Н.Г. Зырин, С.А. Кочеригин, В.В. Никитин, Н.З. Матюк, А.И. Микоян, А.В. Потопаев, В.С. Пышнов, Н.С. Строев, В.К. Таиров, М.К. Тихонравов, Д.Л. Томашевич, П.В. Флеров, С.Н. Шишкин, М.К. Янгель, В.П. Яценко.

Памятники и мемориальные доски в честь Н.Н. Поликарпова установлены в Ливнах, Орле, Санкт-Петербурге, Москве. Его именем названы улицы этих городов, одна из горных вершин Памира. С мая 1983 г. плавает сухогрузный теплоход «Авиаконструктор Поликарпов» класса «река-море».

Прожив всего пятьдесят один год, Николай Николаевич Поликарпов сделал для нашей авиации и нашего государства исключительно много.

«Подчеркивая роль Поликарпова как конструктора в прогрессе авиации», - писал генеральный конструктор КБ имени А.И.Микояна академик Р.А.Беляков, - «мы должны отметить его большое влияние на развитие смежных отраслей науки и промышленности. Он широко привлекал инженеров и ученых различных отраслей знания для решения задач создания конструкционных материалов, агрегатов, оборудования».

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, В.П. Неизвестный Поликарпов [Текст] / В.П. Иванов. – М.: ЯУЗА-ЭКМО, 2009. – 864 с.
2. Иванов, В.П. Самолеты Поликарпова [Текст] / В.П. Иванов. – М.: РУСАВИА, 2004. – 432 с.
3. Шавров, В.Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г [Текст] / В.Б. Шавров. – М.: Машиностроение, 2002. – 704 с.
4. Шавров, В.Б. История конструкций самолетов в СССР. 1938-1950 гг [Текст] / В.Б. Шавров. – М.: Машиностроение, 1988. – 568 с.

Владимир Петрович Иванов
Кандидат технических наук, доцент,
Старший научный сотрудник
Санкт-Петербургского института информатики
и автоматизации Российской академии наук
Тел: (812) 328-19-19
E-mail: vpivanov.spb.su@gmail.com.

V.P. IVANOV

N.N. POLIKARPOV CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF AVIATION SCIENCE, AIRPLANES AND TECHNOLOGY

We described the N.N. Polikarpov contribution to the development of aviation science, airplanes and technology.

Key words: *optimal control, singular control, dynamic systems, envelope method.*

BIBLIOGRAPHY

- [1] Ivanov, V.P. Unknown Polikarpov [Text] / V.P. Ivanov. – Moscow: Yauza-EXMO, 2009. - 864 p.
- [2] Ivanov, V.P. The Polikarpov airplanes [Text] / V.P. Ivanov. – Moscow: RUSAVIA, 2004. - 432 p.
- [3] Shavrov, V.B. The USSR airplanes history to 1938 [Text] / V.B. Shavrov. – Moscow: Mashinostroyenie, 2002. - 704 p.
- [4] Shavrov, V.B. The USSR airplanes history. 1938-1950 [Text] / V.B. Shavrov. – Moscow: Mashinostroyenie, 1988. - 568 p.

Vladimir Petrovich Ivanov

Can. Sc. technical,

senior research associate

of Saint-Petersburg institute for

the informatics and automation

of Russian Academy of Sciences.

SpbPhone: (812) 328-19-19,

E-mail: vpivanov.spb.su@gmail.com.

УДК 371.261

A.B. МОРОЗОВА, Д.Е. ТАРАСОВ, И.Е. ЕРМАКОВ

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОФИЛЬНОГО ВУЗА УНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА

В статье анализируется практика разработки методом игрового проектирования системы стратегических задач, направленных на повышение конкурентоспособности профильного вуза университетского комплекса, в рамках перехода на реализацию ФГОС нового поколения, требующего повышения интенсивности педагогического труда, результативности образовательного процесса и уровня взаимодействия вуза с промышленными предприятиями региона.

Ключевые слова: *конкурентоспособность, компетенция, промышленное предприятие, профильный вуз.*

Успешные стратегии ведущих вузов России базируются на формировании систем устойчивых конкурентных преимуществ. Вуз является конкурентоспособным, если он обладает преимуществом (или преимуществами) перед конкурентами в привлечении потребителей и защищен от действия конкурентных сил [1, 2]. В условиях образовательной среды существует множество источников, обеспечивающих вузу поддержание, а лучше - рост своей конкурентоспособности:

- предложение лучшей системы реализуемых специальностей, совмещенных с потребностями рынка труда и материально-техническим оснащением промышленных предприятий региона, как потенциальных заказчиков на целевую подготовку кадров;
- предоставление лучшего обслуживания в условиях научно-образовательной среды вуза;

- обеспечение более низких, чем у конкурентов, издержек при реализации образовательных программ, например, более низкий процент отчисления студентов, в том числе за счет создания вузом дополнительных условий для совмещения образовательной и профессиональной деятельности студентами и т.д.;
- лучшее территориальное расположение или создание условий для комфортабельного проживания иногородним студентам в общежитиях вуза;
- обладание собственной технологией подготовки кадров, имеющих оптимальный уровень сформированности компетенций, востребованных на рынке труда, а также оценки качества подготовки специалистов и корпоративной системы кадрового консалтинга, основанного на квалиметрии профессиональных кадров;
- выпуск специалистов, имеющих дополнительное профессиональное образование, прошедших сертификацию в узкоспециализированной области или подготовку по целевым программам кадрового обеспечения промышленных предприятий определенной отрасли;
- выпуск специалистов в рамках реализации экстерната или новых направлений специализации;
- наличие у вуза собственного бренда, а также высокого рейтинга среди вузов, осуществляющих подготовку специалистов определенного профиля;
- предложение потенциальным работодателям большей реальной ценности молодого специалиста (т.е. оптимальное сочетание профессиональных компетенций и социально-психологических характеристик выпускника, возможность превентивного конкурсного профессионального отбора работодателями молодых специалистов по итогам их производственной практики в течение нескольких лет на данном промышленном предприятии).

Переход на ФГОС нового поколения, обусловленный, в первую очередь, необходимостью модернизации российской промышленности в русле экономики знаний, призван решить ряд сложных для современной системы профессионального образования вопросов:

- какую стратегию выбрать вузу и его выпускникам, если в вузе сформирована сильная научно-педагогическая школа определенного профиля, а рабочих мест для выпускников вуза по данному направлению подготовки или нет, или их очень мало;
- как наладить вузу партнерские взаимоотношения с предприятиями региона (как правило, они составляют большую долю), которые имеют значительное число материально-технических и финансовых проблем и не испытывают необходимость ни взаимодействовать с вузом, ни привлекать молодые кадры;
- как преодолеть нежелание значительного числа руководителей промышленных предприятий региона участвовать в разработке модели специалистов, подготовку которых осуществляет вуз для этих же предприятий;
- как решить проблему отсутствия «толковых» молодых специалистов в условиях переизбытка на рынке труда выпускников вузов ...

Проведенный анализ сложившейся в настоящее время системы взаимодействия «вуз – предприятия» показывает необходимость принципиально нового подхода к стратегическому планированию этого взаимодействия при реализации задач ФГОС нового поколения в условиях регионального социально-производственного комплекса (таблица 1)

В этой связи, если вуз выбирает на рынке образовательных услуг стратегию на поддержание и рост уровня своей конкурентоспособности, то в рамках его социально-образовательного пространства необходимо сформировать систему стратегических задач, ориентированных на повышение конкурентоспособности отдельных социально-профессиональных групп этого пространства. По-нашему мнению, для Технологического института имени Н.Н. Поликарпова, являющегося структурным подразделением ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» и осуществляющего профильную подготовку специалистов для машиностроительного производства региона, такая система задач может иметь следующий вид.

Таблица 1

Этап, действия	Объект/исходный материал	Результат
Исследование окружающей рыночной среды в разрезах реализуемых специальностей, предварительное (возможно, посредством виртуальной среды) взаимодействие с предприятиями	Региональный рынок, поэтапный переход к рынкам смежных регионов	Мониторинговые исследования и анализ потенциального рынка труда выпускников профильного вуза Выявление кластера приоритетных предприятий региона
Организация социологических исследований на предприятиях региона и проектирование партнерских предложений предприятиям региона	Результаты социально-профессионального мониторинга промышленных предприятий региона	Анализ результатов социологических исследований на предприятиях региона; индивидуальные пакеты партнерских предложений предприятиям региона; предложения по развитию системы стратегического партнерства вуза
Проведение межрегиональных конференций по направлениям подготовки специалистов «Система образования как инструмент решения проблем современного производства»	Профильные предприятия, представители администрации региона; индивидуальные пакеты партнерских предложений предприятиям региона	Информирование промышленных предприятий об изменениях в системе профессионального образования, о партнерских предложениях профильного вуза. Формирование коллективного видения по вопросу развития образовательно-производственных кластеров в регионе Социологический опрос представителей промышленных предприятий и администрации региона
Информирование вуза о кадровых проблемах промышленных предприятий региона (формирование информационной базы обратной связи)	Предприятия, участвовавшие в конференции, получившие пакеты партнерских предложений и анкеты социологического опроса	Информация о кадровых и материально-технических проблемах промышленных предприятий, видения их решения в системе партнерского взаимодействия с вузом Информация о дефиците социально-профессиональных компетенций специалистов, присутствующих на рынке труда
Анализ информации о кадровых проблемах промышленных предприятий региона (анализ обратной связи)	Результаты обсуждения кадровых и материально-технических проблем современных предприятий и индивидуальных пакетов партнерских предложений вуза	Формирование Модели специалиста по направлениям подготовки, реализуемым вузом, с учетом запроса регионального рынка труда и требований потенциальных работодателей
Адресная работа с промышленными предприятиями	Проекты договоров о стратегическом партнерстве вузов и промышленных предприятий	Реализация Модели специалиста по направлениям подготовки, реализуемым вузом, с учетом запроса регионального рынка труда и требований потенциальных работодателей

Задачи социальной группы «АДМИНИСТРАЦИЯ»:

- выявление работающих и перспективных предприятий по направлениям реализуемой системы специальностей;
- обоснование, формирование пакета документации и аккредитация новых специальностей с учетом опережающего обеспечения рынка труда на основании прогнозной динамики развития региона;
- разработка корпоративных стандартов СМК вуза для системы нормативной документации по реализации ФГОС нового поколения;
- разработка и реализация на сторону самостоятельно разрабатываемых вузом программных продуктов, обеспечивающих реализацию новых методик преподавания, управления учебно-воспитательным процессом и мониторинговых исследований результативности реализации различных процессов в СМК вуза;
- приобретение современного программного обеспечения, обеспечивающего научно-методическую и исследовательскую деятельность коллектива вуза по разработке новых методик преподавания, управления учебно-воспитательным процессом, мониторинговых исследований результативности реализации различных процессов в СМК вуза;
- реализация межвузовского профильного инициативного научного проекта по созданию виртуального технопарка современного промышленного оборудования и инструментов по направлениям подготовки специалистов;
- формирование отдела социального маркетинга, отвечающего за прием в вуз/ссуз, правовое сопровождение реализации договоров о целевой подготовке кадров, реализацию производственной практики и организацию целевых стажировок на промышленных предприятиях, временное трудоустройство студентов и трудоустройство выпускников по заявкам предприятий и т.д.;
- разработка и внедрение в практику деятельности факультетов профильного вуза системы квалитетического оценивания качества сформированности компетенций и социально-профессиональной конкурентоспособности студентов и выпускников вуза;
- сайт профильного вуза должен содержать индивидуальную страницу каждого административного работника (директора, его заместителей, деканов факультетов и т.д.) для информирования и индивидуального общения с каждым работником или студентом профильного вуза (при наличии индивидуальных паролей и логинов).

Задачи социальной группы «ПАРТНЕРЫ-РАБОТОДАТЕЛИ»:

- на государственном уровне решение вопроса о внедрении системы льготного налогообложения для предприятий, участвующих совместно с вузами в реализации комплексной системы практикоориентированной подготовки специалистов для региональных промышленных комплексов и их последующего трудоустройства по профилю специальности;
- развитие системы стратегического партнерства «ВУЗ – ПРЕДПРИЯТИЕ» как при целевой подготовке кадров, так и при формировании хоздоговорного пакета заказов;
- реальное участие в экспертизе проектов основных образовательных программ направлений и специальностей подготовки кадров, а также в последующей реализации этих программ в рамках ведения специализированных курсов, предоставления целевой базы практики и участия в работе ГАК;
- участие промышленных предприятий в долевом приобретении и эксплуатации оборудования; формирование пакета заказов для выполнения работ на приобретаемом оборудовании силами студентов-практикантов вуза;
- информирование вузом промышленных предприятий при проведении конкурсов профессионального мастерства, научно-практических конференций, профильных олимпиад, защит курсовых и дипломных проектов;
- участие промышленных предприятий в подготовке и проведении конкурсных профессионально-ориентированных мероприятий, направленных на поэтапный отбор перспективных кадров;

- формирование системы персональных стипендий предприятий для студентов, заключивших договор о целевой подготовке и имеющих значительные успехи в освоении специальности.

Задачи социальной группы «ПРЕПОДАВАТЕЛИ»:

- развитие системы повышения квалификации преподавателей общепрофессиональных и специальных дисциплин на промышленных предприятиях, а также годичных стажировок преподавателей с приобретением навыков работы на современном высокотехнологичном оборудовании;
- реализация на базе творческих межкафедральных групп корпоративного инициативного научно-методического проекта по созданию виртуальной системы лабораторных практикумов для специальных и общепрофессиональных дисциплин, обеспечивающих приобретение студентами в виртуальной среде навыков работы на современном высокотехнологичном оборудовании;
- перевод учебного процесса на реализацию блочного метода Шаталова, что позволяет экономить учебные площади, материально-технические и кадровые ресурсы вуза;
- документирование на базе СМК университета процедуры рейтинг-стимулирования деятельности преподавателей; формирование финансового компонента обеспечения реализации системы рейтинг-стимулирования деятельности преподавателей университета, его профильных вузов и филиалов;
- сайт профильного вуза должен содержать страницу каждого преподавателя для индивидуального информирования и общения со студентами (при наличии индивидуального логина и пароля у каждого студента);
- формирование электронного фонда учебно-методических материалов, доступного всем сотрудникам профильного вуза; при заключении отдельного соглашения со специалистами-разработчиками формирование базы учебно-методической, научно-методической и научной литературы, которую можно реализовывать на сторону в рамках хозяйственных отношений;
- формирование конкурсной системы отбора внеаудиторных воспитательных мероприятий для учебных групп, курсов и факультетов; планирование воспитательной и внеаудиторной работы со студентами на конкурсной основе, разработка и внедрение системы материальной поддержки инициативных проектов в области воспитательной и внеаудиторной работы со студентами.

Задачи социальной группы «СТУДЕНТЫ»:

- разработка и внедрение комплексной системы доссузовской и довузовской работы со школьниками, т.е. проведение: конкурсов технического творчества школьников в рамках дней открытых дверей профильного вуза; предметных олимпиад в рамках предметных недель кафедр; спортивных мероприятий в рамках внутривузовской студенческой спартакиады;
- разработать и внедрить систему рейтинг-стимулирования учебной, научной и социальной деятельности студентов;
- формирование на сайте профильного вуза индивидуальных портфолио студентов, начиная с первого курса, а также их профессионального резюме для потенциальных работодателей;
- переход на рейтинговую систему оценивания качества подготовки специалистов с компонентой автоматического зачета сессионных мероприятий;
- сессионные мероприятия (зачеты, экзамены) реализовывать в практикоориентированной форме с применением прикладного программного обеспечения; оценка должна выставляться по итогам компьютерного тестирования с обеспечением гарантии ее независимости от мнения преподавателя, осуществляющего преподавание учебной дисциплины;

- переход на тьюторскую модель реализации взаимодействия в системе «преподаватель – студент»;
- на старших курсах в период производственной практики предоставить возможность студентам заниматься на работу по профилю специальности по трудовому соглашению в любом, удобном им регионе страны;
- формировать индивидуальные траектории освоения работающими по специальности студентами старших курсов основной профессиональной программы с возможностью прохождения сессионных мероприятий экстерном;
- формирование системы дополнительных клубных курсов (основы предпринимательства; авторемонт и т.д.), реализуемых на базе профильного вуза для студентов и его сотрудников;
- сформировать на сайте раздел с предложениями по временному или частичному трудоустройству студентов на период практики, летних каникул и т.д.

ВЫВОД

Проведенный анализ системы конкурентных преимуществ вуза, осуществляющего подготовку специалистов для машиностроительного производства в условиях дефицита рабочих мест на региональном рынке труда и наличия сложившейся в течение нескольких десятилетий высокоэффективной научно-педагогической школы в области технологии машиностроения и металлообработки, позволяет формировать альтернативную стратегию поддержания и роста конкурентоспособности вуза за счет сокращения доли выпускников данного профиля, формирования системы интенсивного вовлечения студентов в научно-исследовательский процесс в рамках реализации вариативных составляющих основных образовательных программ направлений подготовки специалистов, расширения номенклатуры подготовки специалистов по смежным направлениям, востребованным на рынке труда, интенсификации образовательного процесса и педагогического труда на основе внедрения информационных технологий, а также диверсификации деятельности профильного вуза за счет повышения доли научной и производственной составляющих труда сотрудников и студентов его коллектива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томсон, А.А. мл. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации [Текст] / А.А. Томсон мл., А.Дж. Стрикленд. - Пер. с англ. - М.: ИНФРА-М, 2001. - 412 с.
2. Виссема, Х. Стратегический менеджмент и предпринимательство: возможности для будущего процветания [Текст] / Х. Виссема. - Пер. с англ. - М.: Издательство «Финпресс», 2000. - 272 с.

Анна Валентиновна Морозова
Кандидат социологических наук
Заместитель директора по НИР
Технологического института им.
Н.Н. Поликарпова
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-
УНПК»
Тел.: (4862) 555524
E-mail: niotlostu@gmail.com

Дмитрий Евгеньевич Тарасов
Старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Технологического института им. Н.Н. Поликарпова
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»
Тел.: (4862) 555524
E-mail: tde82@yandex.ru

Илья Евгеньевич Ермаков
Казённое учреждение Орловской области «Региональный центр оценки качества образования»
Зам. директора, начальник отдела ИКТ
Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК», г. Орёл
Аспирант, преподаватель
Тел.: (4862) 43-25-96
E-mail: ilya@ermakov.net.ru

COMPETITIVENESS INCREASE PROBLEMS OF THE STRATEGIC SYSTEM DEVELOPMENT IN A CROSS-SECTIONAL HIGHER EDUCATION INSTITUTION OF THE UNIVERSITY COMPLEX

In article practice of development by a method of system game design of the strategic tasks directed on increase of competitiveness of a university complex cross-sectional higher education institution, within transition to realization of FSES of the new generation demanding increase of pedagogical work intensity, educational process productivity and level of a higher education institution interaction associativity with the industrial enterprises of the region is analyzed.

Keywords: competitiveness, competence, industrial enterprise, cross-sectional higher education institution.

BIBLIOGRAPHY

[1] Thomson, A.A. jun. Strategic management: concepts and situations [Text] / A.A. Thomson jun, A.J. Striklend / Transl. from english – Moscow: INFRA-M, 2001. – 412 p.

[2] Wissema, X. Strategic management and business: possibilities for future prosperity [Text] / X. Wissema. - Transl. from English – Moscow: publishing house "Finpress", 2000. – 272 p.

Anna Valentinovna Morozova
Candidate of sociological sciences
Deputy director on SRW
Institute of technology of N. N. Polikarpov
FSBEO HPE «State university - SSPC»
Phone.: (4862) 555524
E-mail: njotjostu@gmail.com

Dmitry Evgenyevich Tarasov
Senior teacher, head of chair laboratory «Technology of mechanical engineering and design and technological informatics»
Institute of technology of N. N. Polikarpov
FSBEO HPE «State university - SSPC»
Phone.: (4862) 555524
E-mail: tde82@yandex.ru

Ilya Evgenyevich Ermakov
State establishment of the Oryol region «Regional appraisal center of education quality»
Deputy director, head of department of ICT
Institute of technology of N. N. Polikarpov
FSBEO HPE «State university - SSPC»
Graduate student, teacher
Phone.: (4862) 43-25-96
E-mail: ilya@ermakov.net.ru

УДК 330.1

Н.Е. ЦУКАНОВА

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматриваются подходы к разработке инновационных стратегий, с учетом жизненного цикла продукта, их основные типы, а также зависимость выбора той или иной стратегии от уровня инновационного потенциала и конкурентной позиции предприятия.

Ключевые слова: инновационная стратегия, инновационный потенциал

ВВЕДЕНИЕ

В современной специальной литературе проблема разработки инновационной стратегии является одним из ключевых факторов, определяющих перспективы социального и экономического развития организаций. В настоящее время успешная разработка инновационной стратегии позволяет организациям занимать лидирующие позиции в отрасли, и обеспечивает стабильную основу для дальнейшего роста.

Для более точной характеристики своих целей и способов их достижения каждое предприятие должно разрабатывать стратегию своего будущего развития. Однако только выбор правильной и эффективной стратегии может обеспечить успех и эффективность деятель-

ности. И это требование становится все более важным и актуальным именно сегодня, в условиях усиления конкуренции, сокращения жизненного цикла товаров и услуг, развития новых разнохарактерных технологий.

Разработка стратегии начинается с формулировки общей цели предприятия, которая должна учитывать основное направление деятельности фирмы; рабочие принципы во внешней среде (принципы торговли, отношения к потребителю, ведение деловых связей); культуру организации, ее традиции, рабочий климат [2, с. 75]. А уже на основании общей стратегии предприятие вырабатывает свою стратегию в области создания и производства инновационных продуктов. Действительно, стратегия развития предприятия включает базовую и функциональные стратегии. Базовая стратегия - это модель поведения предприятия в целом. И ее формирование является основанием для всех последующих решений в области стратегического планирования, в том числе для выбора стратегии инновационной деятельности, которая является функциональной стратегией [5, с. 264]. Отсюда, функциональные стратегии – это стратегии, конкретизирующие выбранную базовую стратегию в соответствии с основными направлениями деятельности предприятия.

Роль инновационных стратегий в современных условиях резко повысилась, так как нововведения определяют основные направления развития предприятия. Следовательно, стратегическое планирование обязательно должно опираться на подробный анализ внешней и внутренней среды предприятия, на проведение многочисленных исследований, на сбор и анализ значительного количества информации из различных источников.

И именно тщательное изучение сильных и слабых сторон в деятельности предприятия и его конкурентов позволят лучше продумать стратегию конкурентной борьбы.

Выбор той или иной стратегии, конечно, прежде всего, определяется внешними условиями. Однако следует отметить, что в конечном итоге ее реализация во многом зависит от внутренних возможностей, то есть инновационного потенциала предприятия. Успех предприятия также во многом зависит от таких важных стратегических решений, как точное определение момента вывода на рынок нового продукта, а также своевременный уход с рынка устаревшего продукта, технологии. [3, с. 29].

В определении инновационной стратегии весьма интересна точка зрения В.М. Аньшина, который в своей работе «Формирование многоуровневых инновационных стратегий: вопросы теории и методологии» определил инновационную стратегию как «систему долгосрочных концептуальных установок распределения ресурсов между траекториями инновационного развития системы, а также их перераспределения при изменении внутренних и внешних условий ее функционирования, включающую научно-технический, организационный, мотивационный и материально-финансовый механизмы обеспечения» [5, с.262]. И действительно, инновационная стратегия представляет собой детальный и всесторонний план, включающий постановку целей инновационной деятельности организации, выбор средств их достижения и источники привлечения этих средств.

На основе стратегического анализа внутренних и внешних факторов организация осуществляет выбор стратегии своего развития, которая наиболее точно соответствует реальной ситуации.

Инновационная стратегия предприятия должна повышать или поддерживать конкурентный статус выпускаемой предприятием продукции. Сущность современного этапа развития как национальной экономики в целом, так и отдельных предприятий отражает такая категория, как «инновационное развитие», которая достаточно широко в последние годы освещается в отечественной и зарубежной литературе.

Вместе с тем инновационное развитие предприятия представляет собой не только основной инновационный процесс, но и развитие системы факторов и условий, необходимых для его осуществления, т.е. инновационного потенциала. Следовательно, можно сказать, что инновационная стратегия предприятия должна отражать содержание и основные направления процесса инновационного развития предприятия.

В процессе разработки бюджета инновационной деятельности на предприятии для определения и оценки затрат по отдельным инновационным проектам и эффективности инновационной деятельности в целом могут использоваться экономические и технологические критерии, такие как объем продаж, достижение лидирующего положения на рынке, доход на единицу вложений и др. [4].

В общем виде инновационную стратегию предприятия (стратегию инновационной деятельности) можно охарактеризовать как определенное логическое построение, на основе которого предприятие решает основные задачи, стоящие перед ним в инновационной сфере деятельности.

На сегодняшний день существует множество классификаций инновационных стратегий. Так, С.Д. Ильенкова выделяет следующие три типа инновационных стратегий:

Наступательная – характерна для фирм, основывающих свою деятельность на принципах предпринимательской конкуренции. Она свойственна малым инновационным фирмам.

Оборонительная – направлена на то, чтобы удержать конкурентные позиции фирмы на уже имеющихся рынках. Главная функция такой стратегии – активизировать соотношение «затраты – результат» в инновационном процессе. Такая стратегия требует интенсивных НИОКР.

Имитационная – используется фирмами, имеющими сильные рыночные и технологические позиции. Применяется фирмами, не являющимися пионерами в выпуске на рынок тех или иных нововведений. При этом копируются основные потребительские свойства (но не обязательно технические особенности) нововведений, выпущенных на рынок малыми инновационными фирмами или фирмами-лидерами [1, с. 79-80].

В условиях рыночной экономики предприятию недостаточно только производить хороший продукт, необходимо следить за поведением рынка, появлением новых технологий и оперативно реагировать и внедрять новации в своем производстве, чтобы не отстать от конкурентов. К сожалению, даже крупные предприятия недостаточное внимание уделяют инновационным стратегиям, но по мере возрастания конкуренции этот вид менеджмента становится главным способом выживания и победы в конкурентной борьбе. Основу выработки инновационной стратегии составляют; теория жизненного цикла продукта, рыночная позиция фирмы и проводимая ею научно-техническая политика.

Выработка инновационной стратегии с учётом жизненного цикла продукта для товаров, находящихся в различных стадиях, имеет свои особенности. На стадии внедрения основная цель – создать рынок для нового товара, обеспечить условия для увеличения объёма продаж. На стадии роста и зрелости основная цель – быстрый рост объёма продаж в течение длительного периода различными способами, в том числе за счёт модификации товара, снижения издержек и т.д. На стадии насыщения, когда резко снижается и даже прекращается рост продаж, главное для предприятия – повышение рентабельности производства за счёт снижения издержек и других факторов. На стадии спада происходит устойчивое снижение спроса и объёма продаж и прибыли предприятия. В такой ситуации целесообразны такие действия: снижение цен на «затухающий» товар; увеличение затрат на сбыт, включая рекламу; ликвидация деловой активности не в ущерб своему имиджу и партнёрам; снятие товара с производства [6].

А. А. Трифилова попыталась проследить прямую зависимость выбора той или иной стратегии от уровня инновационного потенциала предприятия (ИПП) [7]:

1. Высокий уровень ИПП подразумевает обеспеченность предприятия собственными средствами и позволяет реализовать стратегию инновационного развития без использования внешних заимствований. А.А. Трифилова рекомендует таким предприятиям стратегию лидера в освоении новых технологий.

2. Средний уровень ИПП выражается в нормальной финансовой обеспеченности производства необходимыми ресурсами. В этих условиях для эффективной инновационной деятельности необходимо заимствование из внешних источников. А.А. Трифилова

определяет стратегию таких предприятий как стратегию либо «лидера», либо «последователя» в освоении новых или улучшающих технологий.

3. При низком уровне ИПП для предприятий характерна удовлетворительная финансовая поддержка текущих производственных запасов и затрат, а для перехода в русло инновационного развития предприятию необходимо получить большие объёмы внешних займов. Для таких предприятий А.А. Трифилова рекомендует выбор стратегии последователя в освоении новых технологий.

4. На нулевом уровне ИПП предприятие испытывает дефицит или отсутствие источников формирования затрат. В статье А.А. Трифиловой не приводится пример выбора какой-либо стратегии для предприятий с таким уровнем ИПП.

Если в модели А. А. Трифиловой был использован один фактор формирования стратегии развития предприятия, то в работах Л. В. Фомченковой и Л. А. Незнамовой [8] предлагается двухфакторная модель выбора стратегии. Определение инновационной стратегии зависит от комбинации следующих переменных: конкурентной позиции предприятия; уровень инновационного потенциала предприятия.

Конкурентная позиция предприятия может быть одной из четырёх возможных: позиция аутсайдера, слабая позиция, сильная позиция, позиция лидера. Уровень инновационного потенциала представлен в трёх уровнях градации: низкий, средний, высокий. Соответственно Л. В. Фомченкова и Л. А. Незнамова выделяют 12 возможных стратегий предприятия:

1. Лидер с низким инновационным потенциалом выбирает стратегию вертикальной интеграции.

2. Лидер со средним инновационным потенциалом выбирает горизонтальную интеграцию.

3. Предприятие-лидер с высоким уровнем инновационного потенциала выбирает стратегию развития рынка.

4. Предприятие с сильной конкурентной позицией и низким инновационным потенциалом следует стратегии сокращения производства.

5. Обладая сильной конкурентной позицией и средним инновационным потенциалом, предприятие осуществляет стратегию горизонтальной диверсификации.

6. Сильная конкурентная позиция в совокупности с высоким инновационным потенциалом обуславливает выбор стратегии захвата рынка.

7. Слабая конкурентная позиция и низкий инновационный потенциал вынуждают предприятие выбирать стратегию отторжения рынком.

8. Средний инновационный потенциал позволяет предприятию со слабой конкурентной позицией выбрать стратегию развития продукта.

9. Слабая конкурентная позиция и высокий уровень инновационного потенциала обуславливает выбор стратегии концентрической диверсификации.

10. Позиция аутсайдера, обладающего низким инновационным потенциалом, ведёт к ликвидации предприятия.

11. Аутсайдер со средним инновационным потенциалом может выбрать стратегию создания совместного предприятия.

12. Стратегию конгломеративной диверсификации выбирают аутсайдеры с высоким уровнем инновационного потенциала.

Подход Л. В. Фомченковой и Л. А. Незнамовой в целом вызывает интерес как попытка формализовать выбор инновационной стратегии. Однако эта попытка обладает некоторыми серьёзными ограничениями, на которые хотелось бы обратить внимание. Во-первых, данные исследователи не поясняют, по каким критериям следует подразделять инновационный потенциал на низкий, средний и высокий. Во-вторых, выбор тех стратегий, что предложили авторы данной модели, вовсе не очевиден, исходя из конкурентной позиции и уровня инновационного потенциала. К сожалению, авторы не поясняют, почему, например, стратегию развития продукта может выбрать лишь предприятие со средним уровнем инновационного потенциала и со слабой конкурентной позицией. Из модели не ясно, может ли выбрать эту

же стратегию выбрать, к примеру, предприятие-лидер с сильной конкурентной позицией. Эта жёсткая и неочевидная обусловленность выбора стратегии двумя факторами и делает данную модель уязвимой для критических замечаний.

Все вышеперечисленные подходы к выбору инновационной стратегии так или иначе опираются на базовое допущение, которое лучше всего сформулировала Н.С. Соменкова: «От состояния инновационного потенциала зависит окончательный выбор той или иной стратегии инновационного развития» [5]. Это базовое допущение сформировалось на основе традиционной теории стратегического управления, которая была сосредоточена на совершенствовании инструментов стратегического анализа. Аксиомами традиционной теории стратегического управления являются следующие положения:

- цель предприятия формулируется однозначно: максимизация прибыли акционеров;

- анализ сильных и слабых сторон предприятия, а также возможностей и угроз во внешней среде проводится объективно. Ситуация как на рынке, так и внутри предприятия является объективным фактом, известным и очевидным для всех беспристрастных наблюдателей;

- стратегия предприятия является неизбежным результатом хорошей методологии и точного анализа. По сути, основной задачей стратега является лишь рациональное обоснование выбора из нескольких вариантов стратегий, возникших как будто бы «сами по себе» - из надлежащего анализа рыночной среды и самой компании.

Однако, на наш взгляд, более правомерная другая гипотеза - теоретическое допущение о том, что не уровень инновационного потенциала определяет выбор той или иной конкурентной стратегии, а, наоборот, выбор стратегии напрямую влияет на все мероприятия, связанные с управлением инновационным потенциалом. Данная гипотеза основана на представлении о том, что выбор стратегии предприятия редко осуществляется исключительно аналитическим путём. Конечно, при принятии стратегических решений необходимо учитывать, в том числе, и уровень инновационного потенциала предприятия.

Вывод. В современных условиях, когда предприятия функционируют в динамичной внешней среде, важным фактором эффективного управления инновационным потенциалом является его интеграция в систему стратегического менеджмента. Формирование, наращивание и реализация инновационного потенциала должны происходить в рамках выбранных стратегических направлений развития. При решении этих задач необходимо особое внимание уделять резервам повышения эффективности управления инновационным потенциалом предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационный менеджмент [Текст] : учебник для вузов / С.Д. Ильенкова, Л.М. Гохберг, С.Ю. Ягудин и др.; под ред. С.Д. Ильенковой. — М.: ЮНИТИ, 2000. — 327 с.
2. Инновационная экономика [Текст] — М.: Наука, 2001. — 294 с.
3. Котлер Ф. Основы маркетинга [Текст] / Ф.Котлер. - М.: Прогресс, 1990. - 736 с.
4. Медынский В.Г. Инновационный менеджмент [Текст] : учебник / В.Г. Медынский. — М.: ИНФРА-М, 2002. - 295 с.
5. Соменкова, Н. С. Формирование стратегии инновационного развития промышленного предприятия [Текст] / Н. С. Соменкова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2008. - №1. - С. 162.
6. Томпсон-мл., А.А. Стратегический менеджмент: концепция и ситуации для анализа [Текст] / А.А. Томпсон-мл., А.Дж. Стрикленд. - 12-е изд.: Перев. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2002.
7. Трифилова, А. А. Анализ инновационного потенциала предприятия [Текст] / А.А. Трифилова // Инновации. — 2003. — №6. - С. 48-59.
8. Фомченкова, Л.В. Формирование и реализация инновационного потенциала промышленного предприятия [Текст] / Л.В. Фомченкова // Российское предпринимательство. - 2005. - №8. - С. 53-57.

Наталья Евгеньевна Цуканова

аспирант

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-
учебно-научно-производственный комплекс»

Тел: (4862) 55-15-96

E-mail: zne.2011@yandex.ru

N.E. TSUKANOVA

AREAS OF DEVELOPMENT AND FORMATION INNOVATIVE STRATEGIES FOR ENTERPRISE DEVELOPMENT

The approach to the development of innovative strategies, taking into account the product life cycle, and their main types, as well as the dependence of the choice of a strategy on the level of innovative capacity and competitive position of the company.

Key words: innovation strategy, innovation potential.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Innovation Management [Text]: A Textbook for high schools / SD Ilyenkov, LM Hochberg, CIO. Yagudin and others, ed. SD Ilyenkov. - M.: UNITY, 2000. - 327 p.
- [2] An innovative economy [Text] - Moscow: Nauka, 2001. - 294 p.
- [3] Kotler, F. Principles of Marketing [Text] / F. Kotler. - Moscow: Progress Publishers, 1990. - 736 p.
- [4] Medynskiy, V.G. Innovation Management [Text] : a textbook / V.G. Medynskiy. - Moscow: INFRA-M, 2002. - 295 p.
- [5] Somenkova, N.S. Formation of the strategy of innovative development of the Industrial Enterprise [Text] / N.S. Somenkova // Bulletin of the Nizhny Novgorod University, she to them. Lobachevskii. - 2008. - № 1. - P. 162.
- [6] Thompson - jun., A. A. Strategic Management: The con-cept and situation analysis [Text] / A.A. Thompson-jun, A.J. Strickland 12th ed.: Trans. from English. - Moscow: Publishing House "William", 2002.
- [7] Trifilova, A. Analysis of the innovation capacity of enterprise [Text] / A. Trifilova // Innovations. - 2003. - № 6. - Pp. 48-59.
- [8] Fomchenkova, L. The formation and implementation of innovative potential of the industrial enterprise [Text] / L. Fomchenkova // Russian business. - 2005. - № 8. - Pp. 53-57.

Natalia Tsukanova

graduate student

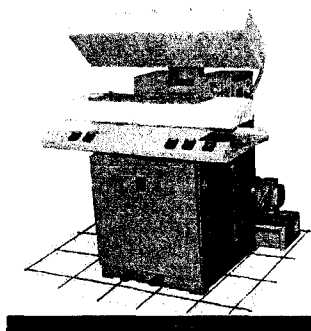
Polikarpov Technological Institute

FSEI HVT «State University – ESPC»,

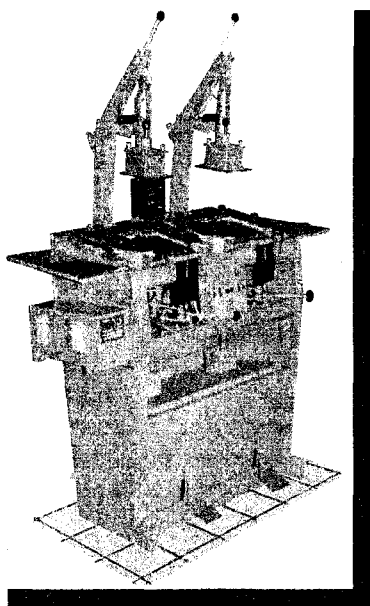
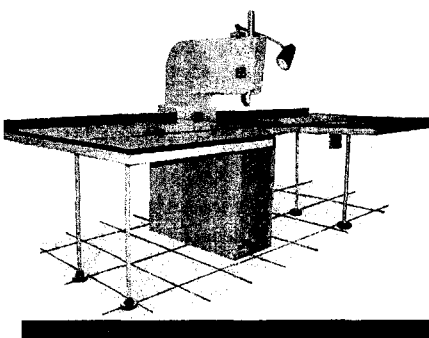
Orel

Phone: (4862) 55-15-96

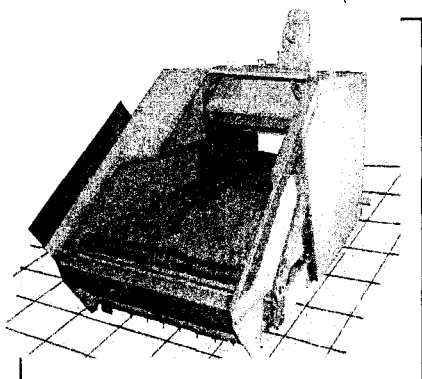
E-mail: zne.2011@yandex.ru



**Учебно-исследовательский
проектно-конструкторский
центр «НИИ Легмаш»
ТИ Госуниверситет - УНПК
производит**



**научно-инновационную
и производственную продукцию
для предприятий
легкой промышленности,
коммунального хозяйства,
пищевой промышленности,
машиностроительного
производства**



**302030, г. Орел, ул. Московская, 34
Тел. (4862)55-55-24, 55-55-53
E-mail: tiorelgtu@gmail.com**

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, 43-48-90
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

Подписано в печать 27.02.2012 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 9,9.
Тираж 600 экз.
Заказ № 173/12 П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.