

Содержание

Машиностроительные технологии и инструменты

Афонин А.Н. Схемы деформирования при режущо-деформирующей обработке резьб....	3
Иванов В.В., Прыжаникова А.А., Сметанин А.С. Пути повышения конкурентоспособности отечественных инструментов с СМП для чистовой токарной обработки.....	8
Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Технология упрочнения волнами деформации.....	13
Лобанов Д.В., Яношкин А.С. Организационно-технологическая подготовка инструмента для обработки композиционных неметаллических материалов.....	17
Овсяникова И.В., Тарапанов А.С., Шоркин В.С. Управление параметрами процесса формирования сложных поверхностей.....	23
Полянчиков Ю.Н., Егоров Н.И., Полянчикова М.Ю. Повышение параметров резания путем поверхностного наводороживания заготовок.....	30
Пыриков П.Г., Рухлядко А.С., Горленко А.О. Технологические методы на основе электромагнитного воздействия для повышения герметичности неподвижных соединений.....	35
Симаков А.А., Василенко Ю.В. Методика анализа геометрии развертки шлифовальных кругов различного профиля.....	44
Смоленцев В.П., Коптев И.Т., Газизуллин К.М. Технологические возможности и перспективы развития электроэрозионной и электрохимической размерной обработки.....	49
Сорокин С.В., Польский Е.А., Федяева Г.А. Автоматизация проектирования технологических процессов обработки деталей на современном оборудовании.....	56
Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. Технологические основы САПР ТП отделочно-упрочняющей обработки деталей в гранулированных средах.....	65
Тотай А.В., Тихомиров В.П., Савин Л.А. Технологическое обеспечение износостойкости чугунных поршневых колец.....	73

Моделирование технологических процессов

Быков С.А., Щучка Р.В., Суздальская Е.А. Анализ и системные исследования математической модели гидродинамики насыпного слоя.....	80
Недоступ А.А., Павленко А.А., Рагеев А.О. Математическое моделирование сетного полотна, закрепленного к оброчу.....	87

Конструирование, расчеты и материалы

Базлов Д.О., Поляков Р.Н. Экспериментальные исследования динамических характеристик роторных систем на комбинированных опорах с упругими элементами.....	96
--	----

Машины, аппараты, технологии легкой и пищевой промышленности

Карев С.В., Камозин Л.М., Ванин В.С. Совершенствование технологического процесса производства гречневой крупы.....	106
--	-----

Инновации и кадры в машиностроении

Аверченков В.И., Шкумат Е.В., Надуваев В.В. Методология создания электронных образовательных ресурсов по специальным техническим дисциплинам.....	111
Васильев А.С., Винокурова Е.В., Галиновский А.Л. Формирование центров сертификации кадров машиностроительного профиля.....	120

Редакционный совет:

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

Редколлегия

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

Заместители главного редактора:

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

Члены редколлегии:

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф.,
член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчицкий 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.
Малыгин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф.,
академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск:

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, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс 29504
по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2012

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Rudchenko 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>Afonin A.N. Schemes of forming at a cutting-forming handlin of thread.....</i>	3
<i>Ivanov V.V., Pryazhnikova A.A., Smetanin A.S. Ways to improve competitiveness of native instruments with cutting insert for finish turning.....</i>	8
<i>Kirichek A.V., Solov'ev D.L. Technology hardening of deformation waves.....</i>	13
<i>Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Organizational-technological preparation of the cutting tool for processing of composite nonmetallic materials.....</i>	17
<i>Ovsianikova I.V., Tarapanov A.S., Shorkin V.S. Manage the process of creating complex surfaces</i>	23
<i>Polyanchikov YU. N., Egorov N.I., Polyanchikova M.YU. The raising of the cutting parameters by work pieces surface hydrogenation.....</i>	30
<i>Pyrikov P.G., Ruhlyadko A.S., Gorlenko A.O. Technology-based methods for electromagnetic exposure to improve still tight connection.....</i>	35
<i>Simakov A.A., Vasilenko YU.V. A method of evolvent geometry analysis for grinding wheels with various profiles.....</i>	44
<i>Smolentsev V.P., Koptev I.T., Gazizullin K.M. Technological possibilities and development prospect of electroerosion and electrochemical dimensional machining.....</i>	49
<i>Sorokin S.V., Polski E.A., Fedyaeva G.A. Automation of designing of technological processes of processing of details on the modern equipment.....</i>	56
<i>Tamarkin M.A., Tishenko E.E. Technological bases of sapr tp of otdelochno-strengthening processing of details in the granulated environments.....</i>	65
<i>Totay A.V., Tikhomirov V.P., Savin L.A. Technology support wear cast iron piston rings.....</i>	73

Process modeling

<i>Bykov S.A., Shchuchka R.V., Suzdalskaj E.A. Analysis and systems calculating of the mathematic model of geometric characteristics of a layer of crushed materials mixture.....</i>	80
<i>Nedostup A.A., Pavlenko A.A., Razhev A.O. Athematical modelling netting cloth fixed to a hoop.....</i>	87

Construction, calculation, material

<i>Bazlov D.O., Polyakov R.N. Experimental researches of dynamic characteristics f rotor systems in the combined bearings ith elastic elements.....</i>	96
---	----

Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Karev S.V., Kamozin L.M., Vanin V.S. Improving the process of production's buckwheat.....</i>	106
--	-----

Innovation and personnel in engineering

<i>Averchenkov V.I., Shkumat E.V., Naduvaev V.V. Methodology of creation of electronic educational resources on special technical disciplines.....</i>	111
<i>Barzakh A.A., Galinovsky A.L., Litvin N.K., Hafiz M.V. Preparation of liquid suspensions using ultra-jet technology.....</i>	120

СХЕМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ РЕЖУЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗЬБ

Обоснована важность выбора рациональной схемы деформирования при режущо-деформирующей обработке резьб. Приведена классификация схем деформирования в осевом и радиальном сечении заготовки при режущо-деформирующей обработке резьб. Даны рекомендации по выбору рациональной схемы деформирования.

Ключевые слова: резьба, режущо-деформирующая обработка, схемы деформирования

В современном машиностроении существует значительное количество ответственных тяжело нагруженных резьбовых деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации сложному нестационарному нагружению. К данным деталям, в частности, относятся многие винтовые механизмы; резьбовые соединения тяжелой транспортной и строительной техники, труб нефтяного сортамента и др. К данным деталям предъявляются повышенные требования по статической и усталостной прочности. Работоспособность резьбовых деталей в значительной степени определяется эксплуатационными свойствами резьбовых поверхностей. В связи с этим, данные детали часто имеют крупные резьбы, изготавливаются из труднообрабатываемых материалов и подвергаются термическому упрочнению.

Известно [2, 5], что наиболее перспективными способами формообразования и упрочнения резьб являются способы обработки пластическим деформированием – накатыванием. При накатывании резьбы под влиянием пластической деформации создаются остаточные сжимающие напряжения с благоприятным распределением их по сечению резьбы. Форма и ориентация кристаллов видоизменяются: волокна располагаются по профилю резьбы. Повышение микротвердости поверхностного слоя составляет 30...40 %. Происходят и другие изменения, в результате которых увеличивается сопротивление резьбы пластической деформации и разрушению. Благодаря этому предел прочности при растяжении увеличивается на 10...30 %, сопротивление износу на 20...30 %, усталостная прочность на 50...70 % и более. Коррозионная усталостная прочность накатанной резьбы выше более чем в 2 раза, чем у нарезанной.

Однако, обработка резьб накатыванием имеет ряд недостатков, в частности достаточно жесткие ограничения по размерам винтовой поверхности и механическим свойствам обрабатываемого материала. Глубина упрочнения при накатывании, как правило, не превышает 2...3 мм, что в большинстве случаев является недостаточным для тяжело нагруженных резьб и профилей. При накатывании крупных резьб возникают значительные силы, что требует применения энергоемкого и дорогостоящего оборудования. Накатывание резьб на предварительно упрочненной ТО заготовке приводит к значительному снижению стойкости инструмента, что делает ее экономически нецелесообразной.

При формообразовании крупных резьб и резьб на заготовках из малопластичных материалов наиболее целесообразным является применение комбинированной режущо-деформирующей обработки (накатывания резьб по предварительно нарезанной винтовой канавке) [3, 5]. Срезание части припуска при комбинированной обработке позволяет уменьшить степень деформации при последующем накатывании и снизить силы деформирования.

Несмотря на все преимущества, режущо-деформирующая обработка резьб не нашла широкого применения в промышленности. Причинами этого являются недостаточная изу-

ченность данного технологического процесса. В частности отсутствуют научно-обоснованные рекомендации по выбору схемы деформирования (последовательности перемещения металла заготовки из впадины формируемой резьбы в выступ). В то же время известно, что от выбора схемы деформирования при накатывании резьб [1] в значительной степени зависит величина сил деформирования и опасность разрушения заготовки из-за исчерпания запаса пластичности.

Схема деформирования при режущо-деформирующей обработке резьб зависит от формы предварительно нарезанной винтовой канавки и, в меньшей степени, от формы профиля витков резьбонакатного инструмента. Основные схемы деформирования в осевом сечении заготовки при режущо-деформирующей обработке резьб [3] в зависимости от формы предварительно нарезанной винтовой канавки на примере трапецидального профиля приведены на рисунке 1.

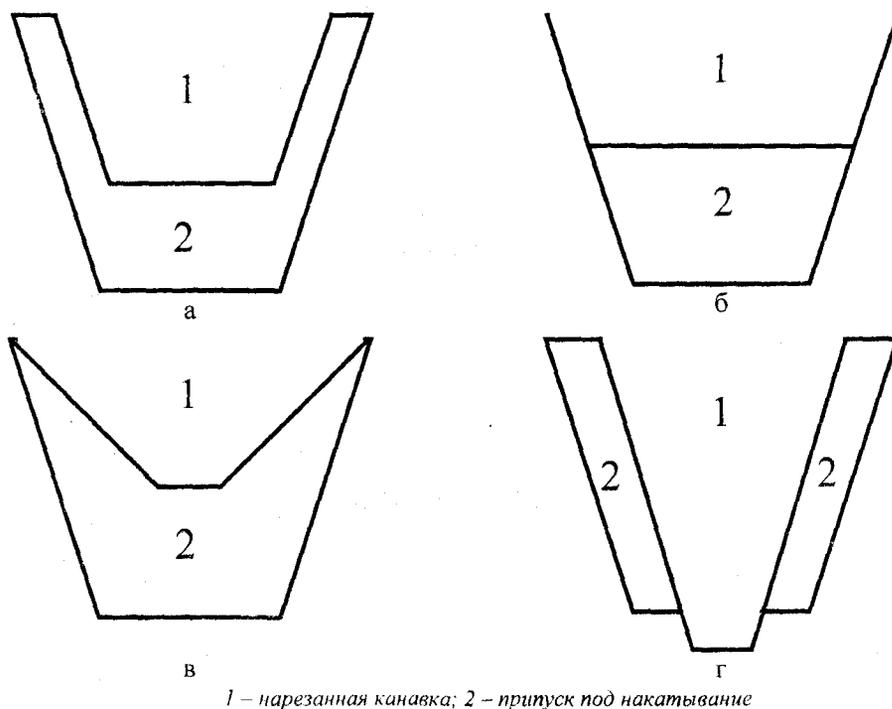


Рисунок 1 - Основные схемы деформирования при режущо-деформирующей обработке резьб в осевом сечении заготовки

Полнопрофильная схема деформирования (рисунок 1, а) является наиболее распространенной. Она реализуется при накатывании резьбы по канавке, форма которой полностью совпадает с формой профиля канавки готовой резьбы, нарезанной на глубину, меньше чем высота профиля готовой резьбы. Наиболее важным преимуществом полнопрофильной схемы является возможность использования для ее реализации стандартного резьбонарезного и резьбонакатного инструмента, например резьбонарезных гребенок и резьбонакатных роликов.

Послойная схема (рисунок 1, б) реализуется при накатывании резьбы по канавке, вырезанной на всю ширину впадины на глубину, меньше чем высота профиля готовой резьбы. Использование послойной схемы приводит к возникновению под вершинами витков резьбонакатного инструмента застойных зон. В связи с этим, ее целесообразно использовать только при изготовлении резьб небольшого шага (не более 2 мм).

Угловая схема деформирования (рисунок 1, в) реализуется при накатывании резьбы по канавке, угол профиля которой больше угла профиля накатываемой резьбы. Угловая схема обеспечивает большую глубину упрочнения, по сравнению с полнопрофильной [5], однако требует для своей реализации резьбообразующего инструмента нестандартной конструкции.

Возвратная схема деформирования (рисунок 1, г) реализуется при накатывании резьбы по канавке, нарезанной на глубину, большую, чем высота профиля готовой резьбы. Подобная схема обеспечивает минимальные силы деформирования и величину деформации по сравнению с другими. В связи с этим она является предпочтительной при режуще-деформирующей обработке резьб с наиболее крупным шагом.

Существующие схемы деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке резьб в радиальном сечении заготовки в зависимости от формы предварительно нарезанной винтовой канавки приведены на рисунке 2. В настоящее время практическое применение нашла лишь сплошная схема (рисунок 2, а). При реализации данной схемы резьбонакатной инструмент вытесняет из впадины одинаковый на всем протяжении деформирования объем металла.



Рисунок 2 - Схемы деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке резьб в радиальном сечении заготовки

Весьма перспективной представляется не нашедшая пока применения в промышленности выборочная схема (рисунок 2, б). При реализации этой схемы объемы металла вырезаются из впадины неравномерно по окружности. Достигается это за счет сообщения режущему инструменту низкочастотных радиальных колебаний. Помимо снижения сил деформирования выборочная схема позволяет получить неравномерно упрочненный гетерогенный поверхностный слой витков резьбы. Гетерогенный характер упрочнения способствует повышению усталостной прочности за счет торможения усталостных трещин в менее твердых, но более вязких участках. Кроме того, сообщение режущему инструменту радиальных колебаний позволяет повысить его стойкость [4]. Широкое внедрение выборочной схемы потребует, однако, проведения экспериментальных исследований по определению рациональных параметров гетерогенно упрочненного поверхностного слоя витков резьбы и размеров предварительно нарезанной винтовой канавки, обеспечивающих достижение этих параметров.

Обобщая рассмотренные выше схемы деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке резьб в зависимости от формы предварительно нарезанной винтовой канавки, их классификацию на сегодняшний день можно представить в виде, показанном на рисунке 3.

Классификация схем деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке резьб в зависимости от формы профиля витков резьбонакатного инструмента в целом соответствует классификации схем деформирования при накатывании резьб по целому [1].

Практическая реализация данных схем деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке наружных резьб возможна с помощью различных методов резьбоформообразования. Предварительное нарезание винтовой канавки в единичном и мелкосерийном производстве целесообразно производить резцами. Этот вид резьбонарезания отличается высокой универсальностью. Резьбовым резцам может быть легко придана необходимая для реализации требуемой схемы деформирования форма на универсальном заточном оборудовании. Современные станки с ЧПУ позволяют достичь точности нарезания резьб, требуемой для режуще-деформирующей обработки.

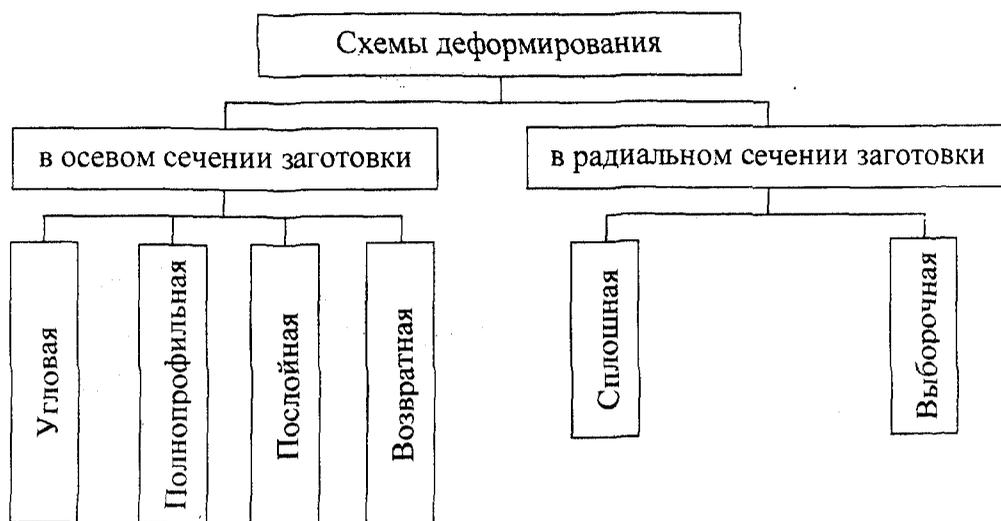


Рисунок 3 - Классификация существующих схем деформирования при комбинированной режуще-деформирующей обработке резьб

В крупносерийном и массовом производстве для предварительного нарезания винтовых канавок целесообразно использовать резьбонарезные головки.

Последующее окончательное накатывание резьбы может осуществляться с помощью практически всех известных способов резьбонакатывания: аксиальными резьбонакатными головками, роликами с радиальной подачей, плоскими плашками и т.д. Совмещение предварительно нарезанной канавки с витками резьбы накатного инструмента может производиться вручную или с помощью специальных приспособлений.

Потребная глубина предварительно нарезанной резьбовой канавки зависит от возникающих при накатывании сил деформирования и допустимой степени деформации, превышение которой может вызвать разрушение накатываемой резьбы. В связи с этим, для определения потребной глубины предварительно прорезанной резьбовой канавки необходимо исследовать поля напряжений и деформаций при резьбонакатывании. Поскольку при накатывании резьб имеет место сложное объемное напряженно-деформированное состояние, подобные исследования могут быть произведены только с помощью современных численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ) [2, 3].

Выбор рациональной схемы деформирования позволяет обеспечивать требуемую степень и глубину упрочнения при режуще-деформирующей обработке резьб и тем самым повысить эксплуатационные характеристики ответственных тяжелонагруженных резьбовых деталей. Совершенствование схемы деформирования также дает возможность повысить стойкость резьбонакатного инструмента в 1,5...2 раза за счет снижения сил деформирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ.

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, А.Н. Схемы деформирования при накатывании резьб [Текст] / А.Н. Афонин, А.В. Киричек // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2009, № 6/278(577). - С. 39-42.
- 2.Киричек, А.В. Резьбонакатывание. Библиотека технолога [Текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. - М.: Машиностроение, 2009. - 312 с.
- 3.Киричек, А.В. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки. Коллективная монография [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин, А.Р. Ингеманссон и др. Под ред. А.В. Киричека. - М.: Издательский дом «Спектр», 2011. - 328 с.
- 4.Подураев, В. Н. Обработка резанием с вибрациями [Текст] / В.Н. Подураев. - М.: Машиностроение, 1970. - 350 с.
- 5.Таурит, Г.Э. Прогрессивные процессы резьбоформирования [Текст] / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, С.С. Добрянский. - Киев: Техніка, 1975. - 240 с.

Андрей Николаевич Афонин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г.Орёл
Доктор технических наук, доцент.
Профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862)55-55-24
E-mail: af@au.ru

A.N. AFONIN

SCHEMES OF FORMING AT A CUTTING-FORMING HANDLIN OF THREAD

Importance of a choice of the rational scheme of deformation is justified at a cutting-forming handling of thread. Classification of schemes of deformation in axial and radial section of workpiece is resulted at a cutting-forming handling of thread. Recommendations at the choice of the rational scheme of forming are given.

Key words: thread, at cutting-forming handling, schemes of forming

BIBLIOGRAPHY

- [1] Afonin, A.N., Schemes of forming at a threads rolling [Text] / A.N. Afonin, A.V. Kirichek // News of OreIStU. A series "Fundamental and application problems of technics and technology", 2009, № 6/278(577). - Pp. 39-42.
- [2] Kirichek, A.V., Thread rolling. Library of the technologist [Text] / A.V. Kirichek, A.N. Afonin. - Moscow: Mashinostroyeniye, 2009. - 312 p.
- [3] Effective Technnologies of Burnishing, Broaching and forming-cutting Handling. The collective monography [Text] / S.K. Ambrosimov, A.N. Afonin, A.R. Ingemansson, etc. Edition by A.V. Kirichek. - Moscow: Publishing House "Spectr", 2011. - 328 p.
- [4] Poduraev, V.N. Working by cutting with vibrations [Text] / V.N. Poduraev. - Moscow: Mashinostroyeniye, 1970. - 350 p.
- [5] Taurit, G.E., Puhovskiy E.S., Dobryanskiy S.S. Progressive processes thread forming [Text] / G.E. Taurit. - Kiev: Technika, 1975. - 240 p.

Andrey Nikolayevich Afonin

State University-Education-Science-Production Complex, Orel
Doctor technical sciences, docent.
Professor of faculty «Mechanical engineering and Design-technology computer science»
Phone. (4862)55-55-24
E-mail: af@au.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ С СМП ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье рассматриваются экспериментальные исследования особенностей чистового точения в условиях ограниченного контакта инструмента со стружкой и заготовкой.

Ключевые слова: чистовая токарная обработка, твердосплавные сменные многогранные пластины, угол при вершине резца, стойкость, стружкодробление

Чистовая обработка является наиболее ответственным этапом в общей технологии изготовления различных деталей машин, поскольку именно на этой стадии формируются требуемые показатели их точности. Ее эффективность во многом определяется эксплуатационными показателями применяемых инструментов. В условиях современного машиностроения РФ все более широкое распространение получают инструменты зарубежного производства. Во многом это обусловлено превосходством их эксплуатационных показателей над отечественными аналогами. Однако за последнее время ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» (КЗТС) освоил выпуск сменных многогранных пластин (СМП) нового поколения, которые по своей износостойкости могут составить конкуренцию зарубежным аналогам [3, 5]. Это стало возможным за счет коренной реконструкции технологии их производства на базе современного технологического оборудования. Тем не менее, существенным недостатком таких СМП является то, что при разработке геометрии передней поверхности она зачастую копируется с зарубежных аналогов. А создание новых конкурентоспособных СМП должно основываться не только на совершенствовании металлургических процессов их производства, но и геометрической конфигурации рабочей части, от которой во многом зависит стружкодробящая способность инструмента, а также его износостойкость. Поэтому данная задача является весьма актуальной для отечественных производителей СМП. Кроме того, зависимость инструментального обеспечения российских машиностроительных предприятий от зарубежных поставок подрывает экономическую безопасность государства. Особенно негативно последствия этого отразятся на военно-промышленном комплексе страны.

Практика показывает, что создание конкурентоспособных форм СМП возможно лишь на основе целенаправленных исследований процесса резания, позволяющих научно обосновать конструкторские решения при оформлении рабочей части инструмента.

Так, в теории резания хорошо известны резцы с укороченной передней поверхностью, предложенные немецким инженером Клопштоком еще в 20-е годы прошлого столетия [3]. Их основное преимущество заключается в снижении сил и температуры резания, которое достигается за счет уменьшения площади контакта стружки с передней поверхностью. Как следствие, это повышает стойкость инструмента, что является резервом для повышения скорости резания и, соответственно, производительности обработки. Существенным недостатком таких резцов является низкая прочность их режущей части, в особенности, из твердого сплава. Поэтому в «чистом» виде эти резцы не используются. Однако положительный эффект от применения укороченной передней поверхности в последнее время нашел достаточно широкое воплощение в конструкциях современных твердосплавных СМП со сложной топографией передней поверхности, например, с локальными сферическими выступами. Их наличие уменьшает фактическую площадь контакта со стружкой, что реализует принцип укороченной передней поверхности без потери прочности рабочей части.

Ограничить площадь контакта стружки с передней поверхностью можно не только за счет геометрической формы последней, но и за счет конфигурации в плане вершины СМП. Это возможно в следующей ситуации. В номенклатуре СМП для чистовой токарной обработки присутствует ромбическая форма типа V с острым углом при вершине 35°. Чистовая

обработка характеризуется малой глубиной резания и образующаяся стружка при резании пластичных материалов завивается преимущественно в плоскости передней поверхности. Поэтому при малой ширине сходящей стружки по плоской передней поверхности естественная длина контакта с ней может оказаться искусственно ограниченной контуром такой острой вершины, а именно, положением вспомогательной режущей кромки. Естественно предположить, что практическое использование такого приема уменьшения площади контакта инструмента со стружкой будет ограничено областью чистовой обработки по той же причине низкой прочности острой вершины инструмента.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований, выполненных для проверки выдвинутых предположений.

На первом этапе были проведены эксперименты с применением плоской передней поверхности на СМП правильной 3-х гранной формы 2008-0153 ТУ 48-19-307-80 (аналог по ИСО TRGN 160304) из твердого сплава Т5К10, взятых из одной партии изготовления. На отдельных СМП были заточены грани с углом при вершине $\epsilon=35^\circ$. После установки СМП в резцовую державку с углом $\phi=60^\circ$ обеспечивались следующие геометрические параметры: $\gamma=0^\circ$, $\alpha=11^\circ$, $\lambda=0^\circ$. За счет разворота резцедержателя выдерживали главный угол в плане $\phi=90^\circ$. Обработке подвергали заготовку из стали 38Х2МЮА (материал группы Р по ИСО) твердостью НВ180 с подачей $S=0,15$ мм/об и глубиной резания $t=0,5$ мм без применения СОТС. В качестве обрабатываемого материала эта марка стали использована и на последующих стадиях исследования. Во время обработки через каждые 15 секунд с помощью цифрового мультиметра проводили измерение термоЭДС, для чего заготовка и резец были изолированы от станка диэлектрическими прокладками. Результаты этих экспериментов представлены в таблице. Там же приведено среднее значение термоЭДС (E) по результатам ее измерений на протяжении всего времени работы резца.

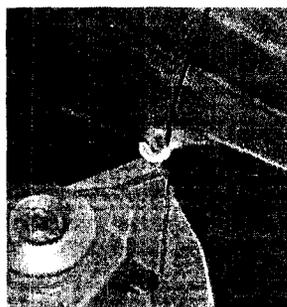
Таблица – Результаты экспериментов

Марка сплава	$\epsilon, ^\circ$	$V, \text{ м/мин}$	$\tau, \text{ мин}$	$\delta, \text{ мм}$	$E, \text{ мВ}$
Т5К10	35	110	6,50	0,40	13,70
	60			0,42	14,21
МС3210	35	187	4,00	0,19	11,70
	60			0,08	10,20

Из нее видно, что, несмотря на различие в углах при вершине ϵ почти в 2 раза, на них был достигнут практически одинаковый износ задней поверхности δ . Это обусловлено тем, что вершине с меньшим углом ϵ соответствует меньшее значение термоЭДС E (температуры резания). Специально проведенными экспериментами было установлено, что это объясняется искусственным ограничением площади контакта стружки с передней поверхностью, вызванным конфигурацией узкой вершины с углом $\epsilon=35^\circ$. Кроме того, из фотографий, представленных на рисунок 1, видно, что при $\epsilon=35^\circ$ виток сходящей стружки перекрывает вершину СМП, что также свидетельствует об ограничении ее контакта с передней поверхностью.



а



б

Рисунок 1 – Образование стружки на сравниваемых вершинах СМП: а – $\epsilon=60^\circ$; б – $\epsilon=35^\circ$

Реально существующие СМП для обработки пластичных материалов имеют стружкозавивающие элементы на передней поверхности. Поэтому на втором этапе исследований были проведены эксперименты с использованием СМП правильной 3-х гранной формы 2008-0422 (аналог TPMR 160304 по ИСО), со стружкозавивающими канавками, из твердого сплава с покрытием марки MC3210 при тех же условиях, но с большей скоростью резания. Полученные результаты (таблица) показывают, что в условиях данного эксперимента вершина с углом $\epsilon=35^\circ$ прогревается больше и, как следствие, больше изнашивается. Это объясняется тем, что стружкозавивающая канавка локализует естественную длину контакта стружки с передней поверхностью даже в пределах вершины с углом $\epsilon=35^\circ$, что хорошо видно из фотографии на которой запечатлен момент резания такой СМП.

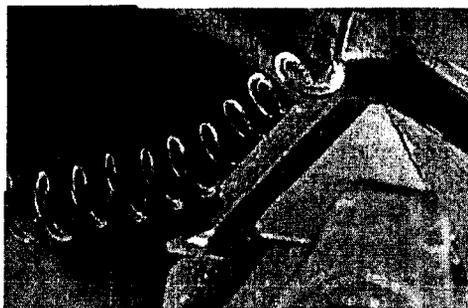


Рисунок 2 – Образование стружки при наличии на передней поверхности стружкозавивающих канавок

Однако при установленных преимуществах плоской передней поверхности в данном случае ее недостатком является образование неудовлетворительной формы стружки, препятствующей работе на автоматизированном оборудовании, а также станках с ЧПУ, без вмешательства оператора. В связи с этим, на третьем этапе исследований решалась задача получения компактной стружки при плоской передней поверхности инструмента.

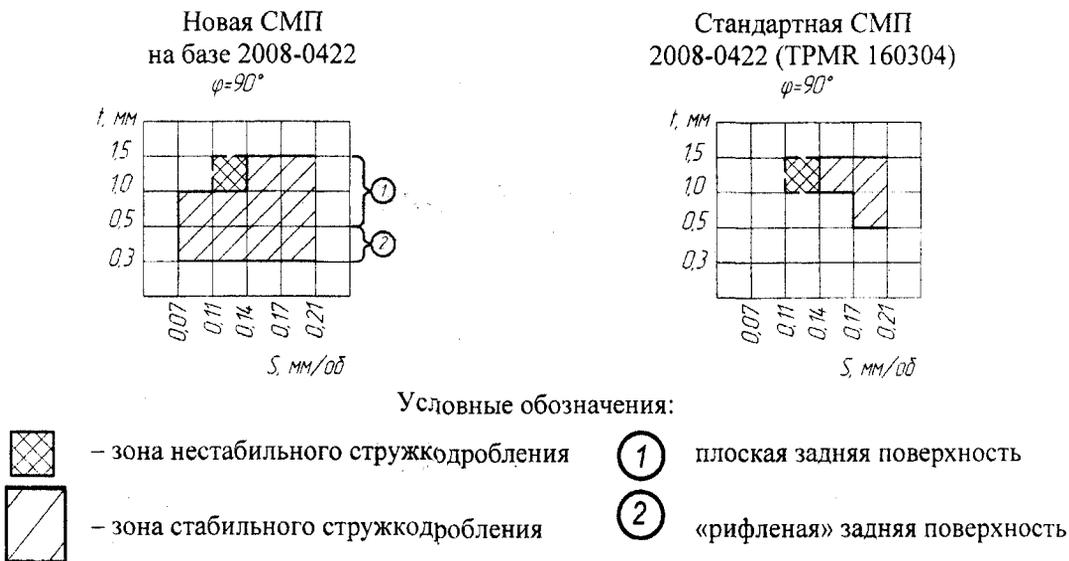


Рисунок 3 – Зоны стружкодробления

В данной ситуации целесообразно воспользоваться отечественным опытом по дроблению стружки на основе применения классического уступа на плоской передней поверхности [1]. Одновременно с этим для повышения стабильности стружкодробления необходимо

учитывать фрикционное взаимодействие витка стружки с задней поверхностью резца [2]. Это достигается за счет специальной конфигурации задней поверхности СМП, которая выполняет роль своеобразного «протектора», увеличивающего сцепление со стружкой, что стабилизирует процесс стружкодробления. В результате появляется возможность расширить диапазон стабильного стружкодробления в область меньших значений глубин резания и подач, характерных для чистовой обработки.

С учетом изложенного на задней поверхности СМП формы 2008-0422 (ТУ 48-19-307-87) были нанесены рифления, перпендикулярные главной режущей кромке за пределами ее активной части в зоне контакта со стружкой. Кроме того, путем заточки при вершине СМП был сформирован угол $\varepsilon = 35^\circ$, а на передней поверхности был заточен уступ. На рисунке 3 приведены диапазоны дробления стружки в координатах t - S , из которых просматривается превосходство геометрии рабочей части предлагаемой конструкции СМП над стандартной геометрией.

Взаимодействие витка стружки с рифленой задней поверхностью запечатлено на фотографии (рисунок 4).



Рисунок 4 – Взаимодействие витка стружки с рифленой задней поверхностью

Для повышения стойкости серийно выпускаемых отечественных СМП можно воспользоваться приемом искусственного ограничения допустимой величины износа задней поверхности [6], поскольку при чистовом точении этот вид износа является доминирующим. Несмотря на его известность, ранее он не нашел широкого применения в отечественной металлообработке. Вероятно, это было вызвано сложностью его реализации при использовании резцов напайной конструкции. Однако применительно к сборным резцам с СМП для чистового точения его реновация может оказаться весьма востребованной в отечественной промышленности, поскольку это позволит увеличить ресурс работы СМП российского производства. В свою очередь принудительное ограничение допустимой величины износа задней поверхности будет способствовать обеспечению практически постоянного значения радикальной составляющей силы резания P_y , которая провоцирует возникновение вибраций и ухудшает шероховатость обработанной поверхности.

Искусственное ограничение допустимой величины износа задней поверхности на третьей стадии исследований было проведено с применением СМП формы 2008-0443 (TPGR160312 по ИСО) из сплава МС 2210 (P20). При этом величина этого износа была принята равной 0,3 мм, которая была ограничена на вершине СМП путем заточки канавки глубиной 0,17 мм (рисунок 5). Эксперименты, проведенные при точении с $t = 0,3$ мм, $S = 0,11$ мм/об, $V = 240$ м/мин, показали, что это позволяет вдвое продлить срок службы (период стойкости) по сравнению со стандартной СМП. При этом достигнута практически одинаковая шероховатость обработанной поверхности в пределах $Ra\ 4,24 - 4,56$ мкм, для сравниваемых вариантов. Необходимо подчеркнуть, что такая доработка стандартной СМП не вызывает технологических затруднений. Поэтому ее рекомендуется проводить на стандартных оте-

чественных СМП перед их эксплуатацией, что повышает эксплуатационный ресурс и делает их конкурентоспособными.

Полученные результаты открывают новые возможности в проектировании конкурентоспособных отечественных СМП, функционирование которых основано на технических решениях, ранее не применяемых в мировой практике. Основной областью применения предлагаемых СМП является чистовая токарная обработка деталей нежесткой конструкции, таких как валы с большим отношением L/d (>10), тонкостенные детали и т.п.

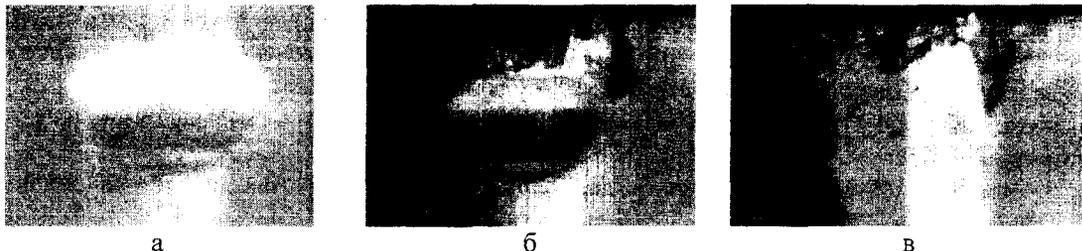


Рисунок 5 – Состояние вершины СМП: а – СМП с ограничивающей канавкой до эксперимента; б – та же СМП после 11 проходов; в – вершина стандартной СМП после 7 проходов

При мелкосерийном производстве данного класса деталей можно осуществлять доработку стандартных отечественных СМП для придания требуемой конфигурации ее рабочей части. Для условий крупносерийного производства целесообразно освоение промышленного выпуска таких СМП на ОАО «КЗТС».

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. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов [Текст] : справочник / под ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 440 с.
2. Васин, С.А. Стружкодробление при точении [Текст] / С.А. Васин, В.В. Иванов. – Тула: ТулГУ, 2001. – 151 с.
3. Иванов, В.В. Перспективы применения режущих инструментов с СМП российского производства [Текст] / В.В. Иванов, А.А. Пряжникова // Технические науки: проблемы и перспективы: сб. статей Международной заочной научной конференции. – С-Пб.: Молодой ученый, 2011. – С. 134-137.
4. Панкин, А.В. Обработка металлов резанием [Текст] / А.В. Панкин. М.: Машгиз, 1961. 520 с.
5. Пряжникова, А.А. Замещение импорта инструментов с СМП при производстве машиностроительной продукции в условиях малого инновационного предпринимательства [Текст] А.А. Пряжникова, Е.В. Сорокин // Ползуновский альманах. – Барнаул: Алтайский государственный технический ун-т им. И.И. Ползунова, 2010. – № 2. – С. 292-296.
6. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов [Текст] / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

Валерий Васильевич Иванов
Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Тел.: 8(4872)33-25-38,
8(4872)26-13-91
E-mail: helena8@mail.ru

Анастасия Анатольевна Пряжникова
Аспирант
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
Тел.: 8-910-151-75-20
E-mail: drakon-220188@mail.ru

Андрей Сергеевич Сметанин
Магистрант
Тел.: 8-920-777-68-79
E-mail: andersen90@yandex.ru

V.V. IVANOV, A.A. PRYAZHNIKOVA, A.S. SMETANIN

WAYS TO IMPROVE COMPETITIVENESS OF NATIVE INSTRUMENTS WITH CUTTING INSERT FOR FINISH TURNING

The article deals with experimental studies of the finish turning in tight contact with the shaving tool and the workpiece.

Key words: finishing turning, cutting insert of carbide, point rake of cutting tool, tool wear resistance, chip breaking

BIBLIOGRAPHY

- [1] Progressive cutting tools and cutting of metals [Text] : A Handbook / Ed. V.I. Baranchikova. -- Moscow: Mashinostroenie, 1990. – 440 p.
- [2] Vasin, S.A. Chip control in turning [Text] / S.A. Vasin, V.V. Ivanov. – Tula: Tula State University, 2001. – 151 p.
- [3] Ivanov, V.V. Prospects for the use of cutting tools with the SMP produced in Russia [Text] / V.V. Ivanov, A.A. Pryazhnikova. // Engineering: Problems and Prospects: Sat. articles of the International scientific conference correspondence. – Saint-Petersburg.: A young scientist, 2011. – P. 134-137.
- [4] Pankin, A.V. Processing of metal cutting [Text] / A.V. Pankin. - Moscow: Mashgiz, 1961. 520 p.
- [5] Pryazhnikova, A.A. Import substitution instruments with SMP in the manufacture of engineering products in small innovative enterprises [Text] / A.A. Pryazhnikova, E.V. Sorokin. // Polzunovsky almanac. – Barnaul: Altai State Technical Univ them. II Polzunov, 2010. - № 2. - P. 292-296.
- [6] Reznikov, A.N. Thermophysics processes of machining materials [Text] / A.N. Reznikov. -- Moscow: Mashinostroenie, 1981. - 279 p.

Valery Vasilevich Ivanov
 Doctor of Technical Sciences, Professor
 FSEIB HVT «Tula State University», Tula
 Phone: 8 (4872) 33-25-38, 8 (4872) 26-13-91
 E-mail: helena8@mail.ru

Anastasia Anatolevna Pryazhnikova
 graduate student
 FSEIB HVT «Tula State University», Tula
 Phone: 8-910-151-75-20
 E-mail: drakon-220188@mail.ru

Andrew Sergeevich Smetanin
 undergraduate
 FSEIB HVT «Tula State University», Tula
 Phone: 8-920-777-68-79
 E-mail: andersen90@yandex.ru

УДК 621.787.6.004

А.В. КИРИЧЕК, Д.Л. СОЛОВЬЕВ

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ВОЛНАМИ ДЕФОРМАЦИИ

Представлено описание технологии упрочнения волнами деформации, позволяющей значительно расширить возможности поверхностного пластического деформирования. Рассмотрены основные параметры обработки, формируемые показатели качества и эксплуатационные характеристики упрочненного поверхностного слоя.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; статическое воздействие; ударное воздействие; глубина упрочненного слоя.

Реальный ресурс работы машин и механизмов в значительной степени определяется долговечностью наиболее нагруженных ответственных деталей, при изготовлении которых необходимо особое внимание уделять упрочняющей обработке.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) позволяет создавать наклепанный поверхностный слой, обладающий высокой твердостью и сжимающими остаточными напряжениями, благоприятно влияющими при действии на деталь циклических

нагрузок. Важной особенностью способов ППД также является то что они не требуют больших энергозатрат и применения сложного технологического оборудования.

Параметры наклепанного слоя после ППД во многом определяет нагрузка, осуществляющая пластическое деформирование, которая может быть как статической, так и ударной. Использование ударной нагрузки энергетически более выгодно, чем статической [1]. Однако ударные способы ППД не так широко применяются как статические. Это во многом связано с тем, что управлять ударами при упругопластическом деформировании гораздо сложнее, чем статической нагрузкой и при одинаковой кинетической энергии удара, энергия, расходуемая на пластическую деформацию, может быть разной. Поэтому часто достаточно трудно предсказать результаты упрочнения, полученные ударной нагрузкой, особенно если необходимо формировать большую глубину и степень упрочнения. Причиной этому является то, что в ударных способах ППД не учитывалась длительность ударного импульса, определяющая время, отведенное на упругопластическое деформирование, а также изменение силы удара во время ее действия на материал (форма ударного импульса), определяющее характер пластического течения материала, отсутствовали механизмы для их регулирования.

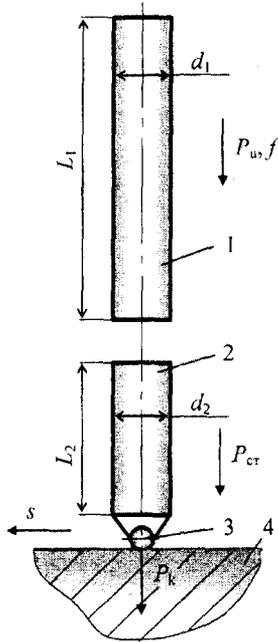
Управляя параметрами ударных импульсов, с помощью волн деформации, возникающих при ударе, можно более рационально распределять ударную нагрузку при упругопластическом деформировании материала, значительно увеличить КПД процесса и с большей точностью создавать требуемые для данных условий эксплуатации детали характеристики упрочненного поверхностного слоя. Согласно волновой теории, удар рассматривается в виде распространяющихся по соударяемым телам плоских акустических волн, которые характеризуются законом изменения деформаций или силы во времени, максимальным значением силы (амплитудой волны), временем действия силы (длительности волны) и энергией волны. Эти характеристики зависят от геометрии соударяющихся элементов, свойств их материалов и скорости соударения [1-3].

В процессах ППД необходимо стремиться к использованию ударных систем генерирующих ударные импульсы большой длительности [4]. Нагружение бойком через предварительно поджатый к нагружаемой поверхности волновод, создает в очаге деформации пролонгированный ударный импульс, состоящий из головной и хвостовой части. Головная часть импульса формируется из первой волны деформации и аналогична импульсу, образованному при ударе непосредственно бойком. Хвостовая часть импульса формируется за счет отраженных волн деформации с периодом аналогичным головной части импульса, которые образуются в ударной системе после удара. Обязательным условием формирования хвостовой части импульса является удержание в жестком контакте ударной системы боек-волновод и нагружаемой поверхности после удара в течение времени превышающем затухание отраженных волн деформации.

Для воздействия на нагружаемую поверхность пролонгированными ударными импульсами, когда удар осуществляется через промежуточное звено, при упрочнении ППД разработан способ статико-импульсной обработки (СИО), заключающийся в периодическом импульсном воздействии на нагружаемую поверхность бойком через статически нагруженный волновод (рисунок 1) [Патент РФ № 2098259]. Предварительное статическое нагружение волновода с инструментом на конце не позволяет ему выходить из контакта с упрочняемой поверхностью после удара, обеспечивая рекуперацию отраженных волн деформации. В результате последовательного воздействия волн деформации на упрочняемой поверхности образуется совокупность пластических отпечатков с деформируемыми областями, имеющими требуемые прочностные свойства. При смещении волн деформации с определенным шагом может быть получен как равномерно, так и гетерогенно упрочненный поверхностный слой [1, 5, 6]. Энергия ударных импульсов может изменяться в диапазоне 5...200 Дж. Величина статической нагрузки перед ударом должна составлять не менее 10 % от ударной.

Возможны различные схемы упрочнения волнами деформации в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и детали в целом.

При обработке плоских поверхностей заготовке сообщается возвратно-поступательное движение относительно инструмента и при необходимости (если площадь обрабатываемой поверхности больше) после каждого рабочего прохода в продольном направлении производится смещение заготовки в поперечном направлении на ширину определяемую шириной получаемых дорожек. Для такой схемы нагружения волновод может выполняться как в виде одного стержня, так и виде пакета из стержней одинаковой длины. Использование в качестве деформирующих инструментов пакета волноводов позволяет формировать несколько очагов деформации за один удар бойка, увеличивая производительность процесса упрочнения [1].



- 1 – боек,
- 2 – волновод,
- 3 – инструмент,
- 4 – упрочняемая поверхность;
- $P_{и}$ – импульсная нагрузка,
- f – частота ударных импульсов,
- $P_{ст}$ – статическая нагрузка,
- $P_{к}$ – контактная сила в очаге деформации,
- s – подача;
- L_1, L_2 – длина соответственно бойка и волновода,
- d_1, d_2 – диаметр поперечного сечения соответственно бойка и волновода

Рисунок 1 – Схема нагружения поверхности детали при статико-импульсной обработке:

При обработке наружных цилиндрических поверхностей обрабатываемой детали сообщается вращательное движение, а ударному устройству – осевая подача. При обработке внутренних цилиндрических поверхностей инструмент (шар или дорн) внедряется в обрабатываемое отверстие под действием силы статического поджатия и затем под действием ударов проходит всю длину обрабатываемой поверхности [7].

Изменяя режимы процесса упрочнения волнами деформации, может быть получен наклепанный поверхностный слой с глубиной до 8...10 мм и большой твердостью до 6500 МПа («глубокая» статико-импульсная обработка – ГСИО). После ГСИО, желательна последующая чистовая механическая обработка для обеспечения заданной точности и снижения шероховатости (тонкое или чистовое точение, фрезерование, абразивная обработка, отделочно-упрочняющая обработка ППД). ГСИО можно помещать как в начале или середине, так и в конце технологического маршрута обработки деталей. Большая глубина упрочненного слоя позволяет выбирать величину припуска на механическую обработку для «сырых» сталей до 1...2 мм, а термообработанных – до 0,5 мм.

Также при упрочнении может быть получен наклепанный поверхностный слой с большой твердостью до 6500 МПа, малой глубиной до 2...3 мм и низкой шероховатостью поверхности, достигающей до $Ra = 0,08...0,1$ мкм (отделочно-упрочняющая статико-импульсная обработка – ОУСИО). Поскольку при ОУСИО обеспечивается достаточно низкая шероховатость поверхности, то ее более предпочтительно использовать в конце технологического маршрута.

Описанная обработка хорошо зарекомендовала себя для повышения контактной выносливости деталей машин [8, 9]. При воздействии волн деформации формировался упрочненный поверхностный слой с необходимой равномерностью упрочнения, т.е. определенным чередованием твердых и мягких участков на заданной глубине поверхностного слоя. В результате долговечность была повышена до 6 раз, при этом в 1,5-2,5 раза снижено количество выкрашиваний.

Исследования выполнены при поддержке проекта, выполняемого в рамках гос. задания р/н 75052011

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (05 - 08 июня 2012 г., г. Орел, Госуниверситет - УНПК)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. - М.: Машиностроение, 2004. - 288 с.
2. Александров, Е.В., Прикладная теория и расчеты ударных систем [Текст] / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский. - М.: Наука, 1969. - 201 с.
3. Алимов, О.Д. Распространение волн деформации в ударных системах [Текст] / О.Д. Алимов [и др.] - М.: Наука, 1985. - 357 с.
4. Киричек, А.В. Влияние пролонгации импульса на степень деформации материала при статико-импульсном упрочнении [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005. - № 4. - С. 6-10.
5. Киричек, А.В. Влияние режимов статико-импульсной обработки на равномерность упрочнения поверхностного слоя [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. - 2004. - № 2. - С. 13-17.
6. Киричек, А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТН. 2007. - №12. - С. 28-31.
7. Киричек, А.В. Упрочнение отверстий статико-импульсным дорнованием [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.В. Поляков // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2009. - № 6. - С. 14-16.
8. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой [Текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.В. Баринов, С.А. Силантьев // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. - № 7. - С. 9-15.
9. Соловьев, Д.Л. Повышение долговечности деталей машин созданием гетерогенно наклепанной структуры [Текст] / Д.Л. Соловьев, А.В. Киричек, С.В. Баринов // Тяжелое машиностроение. - 2010. - №7. - С. 3-7.

Киричек Андрей Викторович
Госуниверситет - УНПК, г Орел
доктор технических наук, профессор, директор Технологического института
тел./ fax (4862)555524
E-mail: avk@ostu.ru

Соловьев Дмитрий Львович
Муромский институт Владимирского государственного университета
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование машин и технологических процессов»
тел.(49234)77145
E-mail: murstin@yandex.ru

A.V. KIRICHEK, D.L. SOLOV'EV

TECHNOLOGY HARDENING OF DEFORMATION WAVES

The presented description to technologies hardening of deformation waves, allowing vastly increase the possibility surface plastic deformation. They are considered main parameters of the processing, formed factors quality and field-performance data hardened surface layer.

Keywords: surface plastic deformation; static effect; kick effect; depth of the strengthened stratum

BIBLIOGRAPHY

- [1] Kirichek, A.V. Technology and equipment for static-pulse treatment with surface plastic deformation [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov, A.G. Lazutkin. Technologist's library. Moscow: Mechanical engineering, 2004. - Pp. 288.
- [2] Alexandrov, E.V. The Applied theory and calculations of the striking systems. [Text] / E.V. Alexandrov, V.B. Sokolinskiy. - M.: Science, 1969. - Pp. 201.
- [3] Alimov, O.D. Blow. Spreading the waves to deformation in striking system. [Text] / O.D. Alimov, V. K. Manzhosov, V. E. Eremiyanc. M.: Science, 1985. - Pp. 357.
- [4] Kirichek, A.V. The Influence to prolongation of the impulse on degree of the deforming the material at static-impulse hardening [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov // Strengthening technologies and coatings. – 2005, № 4. – Pp. 6-10.
- [5] Kirichek, A.V. The Influence regimens static-impulse processing on uniformity hardening surface layer [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov, S.A. Silantiev // Blacksmith's-punching production. Processing metal by pressure. – 2004, № 2. – Pp. 13-17.
- [6] Kirichek, A.V. Material heterogeneous structure creation by static-pulse treatment [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov // STIN. – 2007, – № 12, - Pp. 28-31.
- [7] Kirichek, A.V. Hardening hole static-impulse processing [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov, A.V. Poljakov // Fundamental and applied problems in engineering and technology, 2009. – № 6. – Pp. 14-16.
- [8] Kirichek, A.V. Contact durability increase in machine parts by heterogeneous strain strengthening with static-pulse treatment [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov, S.V. Barinov, S.A. Silantiev // Strengthening technologies and coatings. – 2008.- № 7(43). – Pp. 9-15.
- [9] Solovyov, D.L. Increasing to longevity of the machine parts by creation of the hardening heterocyclic structure [Text] / D.L. Solovyov, Kirichek A.V., S.V. Barinov // Heavy machine building. – 2010/- № 7. – Pp. 3-7.

Andrey Viktorovich Kirichek

Doc. Sc. tech., Prof.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Vocational Training "State University – Educational Scientific Production Complex", Orel

Phone:(4862) 55-55-24

E-mail: ti@ostu.ru

Dmitry Lvovich Solovyov

Doc. Sc. tech. Prof. of the department "Computer aided design of the machines and technological processes"

Murom Institute (Branch of Vladimir State University), Murom

Phone:(49234)77145

E-mail: mirstin@yandex.ru

УДК 621.9

Д.В. ЛОБАНОВ, А.С. ЯНЮШКИН

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрены мероприятия по совершенствованию организационно-технологической подготовки инструмента для обработки композиционных неметаллических материалов. Представлены методики и программные продукты для совершенствования организационной подготовки инструмента на предприятиях, занимающихся изготовлением изделий из композиционных материалов. Рассмотрено влияние методов электроалмазной обработки на качество технологической подготовки инструмента.

Ключевые слова: композиционные материалы, подготовка инструмента, моделирование, программные продукты, комбинированная электроалмазная обработка.

Развитие современной промышленности предполагает использование в качестве конструкционных материалов композитов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками в сочетании с меньшей массой и стоимостью. Наполнители и связующие в таких материалах зачастую более доступны и не требуют использования дорогостоящего сырья, что позволяет рационально использовать ресурсы. В связи с этим, широко развивается индустрия создания новых композиционных материалов с разнообразной

гаммой свойств, отвечающих требованиям, предъявляемым к ним в разных отраслях промышленности (машиностроение, авиастроение, судостроение, вагоностроение, строительство, автомобильная промышленность, мебельная промышленность и т.д.).

Однако специфические свойства композиционных материалов вызывают трудности при изготовлении изделий из них с применением режущего инструмента. Наличие у таких материалов наполнителей и связующего, обладающих высокими прочностными характеристиками, затрудняет их обработку резанием, возрастают требования к износостойкости и качеству подготовки инструмента. Применяемые в настоящее время инструменты и режимы обработки не позволяют обеспечить требуемого качества изделий.

Инструмент быстро изнашивается, теряет свою работоспособность, требует частых переточек, в результате чего возрастают затраты на его эксплуатацию. Такие трудности значительно снижают долю механической обработки при изготовлении деталей из современных композиционных материалов, что ограничивает область их применения.

В связи с этим, одним из перспективных направлений развития научно-технического комплекса страны является повышение эффективности обработки современных композиционных материалов лезвийным инструментом с целью расширения области их использования. Появляется необходимость в исследовании методов и способов повышения работоспособности инструмента, создания новых конструктивных решений, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, отыскания рациональных условий его эксплуатации с обеспечением требуемого качества изготавливаемой продукции. Актуальной становится проблема эффективной и качественной организационно-технологической подготовки режущего инструмента для обработки композиционных материалов.

Систему мероприятий по подготовке режущего инструмента на предприятиях разделим на две составляющие:

1. Организационная подготовка режущего инструмента к работе – это комплекс мероприятий по систематизации инструмента, имеющегося в распоряжении предприятия; подбору конструктивных решений инструмента с необходимыми характеристиками для осуществления технологического процесса обработки материалов резанием; выбору рациональных условий его эксплуатации.

2. Технологическая подготовка режущего инструмента к работе – это комплекс технологических процессов, обеспечивающих его оптимальные рабочие параметры при минимальных трудозатратах. Состав технологических процессов определяется конструкцией инструмента и условиями его работы. В них входят операции заточки, балансирования, правки, выверки, установки в станок и т.д.

С целью совершенствования организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов нами проведены следующие исследования.

Для автоматизации процессов расчета, конструирования, изготовления и эксплуатации инструмента на основе теории графов предложена обобщенная модель сборного фрезерного инструмента, позволяющая проводить анализ и синтез конструктивных решений инструмента в процессе организационной подготовки инструмента. Предложенная графовая структура, являющаяся обобщенной, описывает известные варианты конструкций сборного режущего инструмента и позволяет, с одной стороны, разложить на элементы любую его конструкцию с целью получения более полного представления об ее устройстве. С другой стороны, построить логическую схему найденного технического решения и оценить его работоспособность.

По данной модели возможно описание конструкции сборного инструмента и представление результатов в матричной форме, кроме того, имеется возможность дополнения модели при появлении новых составляющих [1].

С использованием методики моделирования создано программное обеспечение для формирования базы данных сборного фрезерного инструмента, позволяющее значительно сократить время на поиск и обработку информации по конструктивным решениям инструмента, имеющегося в распоряжении предприятия; упростить процесс составления, редакци-

рования и хранения базы данных инструментов; автоматизировать работу конструкторов и технологов; проводить сравнительный анализ вариантов конструкций инструмента для принятия синтезированных конструктивных решений при заданных условиях производства [2].

Разработана методика сравнительного анализа конструкций инструмента для варьируемых условий сопоставимости инструмента, реализованная в виде автоматизированной программы для определения рациональной конструкции инструмента при задаваемых значениях параметров сравниваемых конструкций инструмента [3].

Для создания единого приложения, способного хранить базу данных и производить расчет оптимальной конструкции режущего инструмента, предложена методика, позволяющая вести многофакторный сравнительный анализ конструктивных решений инструмента с учетом ранее полученных экспериментальных данных при обработке схожих композиционных материалов и различных факторов, оказывающих влияние на процесс их резания.

Методики моделирования инструмента, формирования базы данных инструментов и сравнительного анализа реализованы в виде автоматизированной программы, интерфейс модулей которой позволяет работать с базами данных (рисунок 1), а также производить расчет и определение оптимальной конструкции режущего инструмента при заданных условиях производства (рисунок 2) [4].

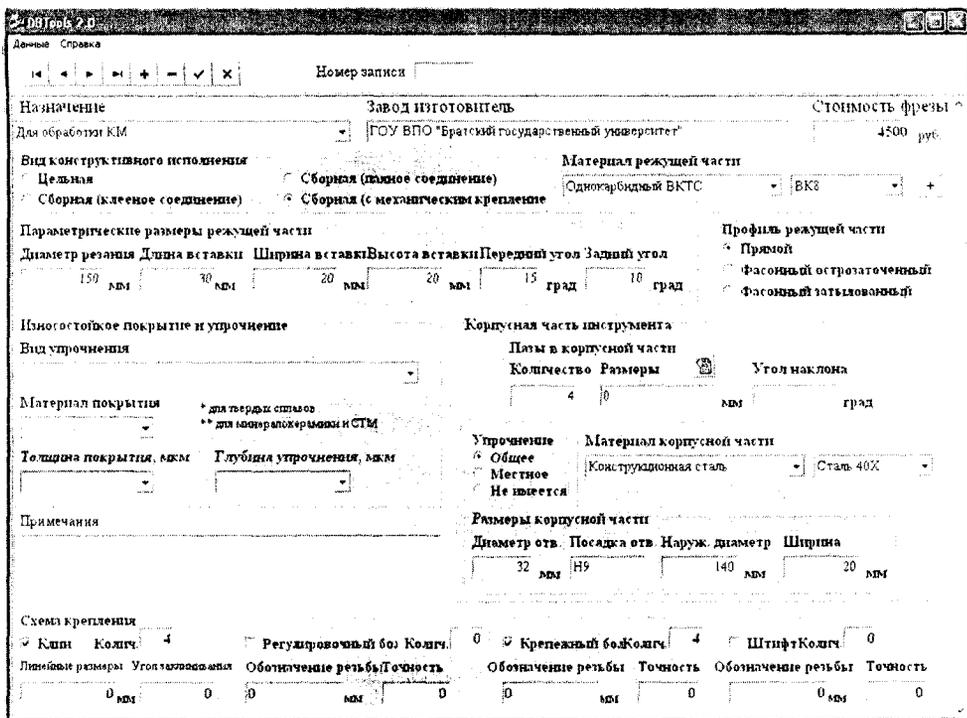


Рисунок 1 – Диалоговое окно модуля для составления базы данных инструмента

Преимуществами представленной автоматизированной системы является совмещение программных модулей составления и хранения базы данных и сравнительного анализа инструмента, что позволяет производить расчеты и выявлять оптимальную конструкцию режущего инструмента на основе данных, имеющихся на предприятии. В сравнении с другими представленными программными продуктами [2, 3] система работает как единое приложение.

С целью совершенствования технологической подготовки инструмента для обработки композиционных материалов, в частности для операций формообразования режущих элементов инструмента, нами разработан комбинированный метод электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга [5].

Сущность метода заключается в анодном растворении продуктов засаливания на поверхности шлифовального круга, причем таком, при котором круг работает в режиме самозатачивания, и одновременном электрохимическом растворении рабочей зоны поверхности обрабатываемого изделия. В итоге резание осуществляется всегда острыми зернами, что является гарантией высокого качества обработанной поверхности. С другой стороны, под действием анодно-химических процессов увеличивается удельный съем материала, растет производительность и снижается расход алмазных кругов, разумеется, при работе на научно обоснованных рациональных электрических и механических режимах.

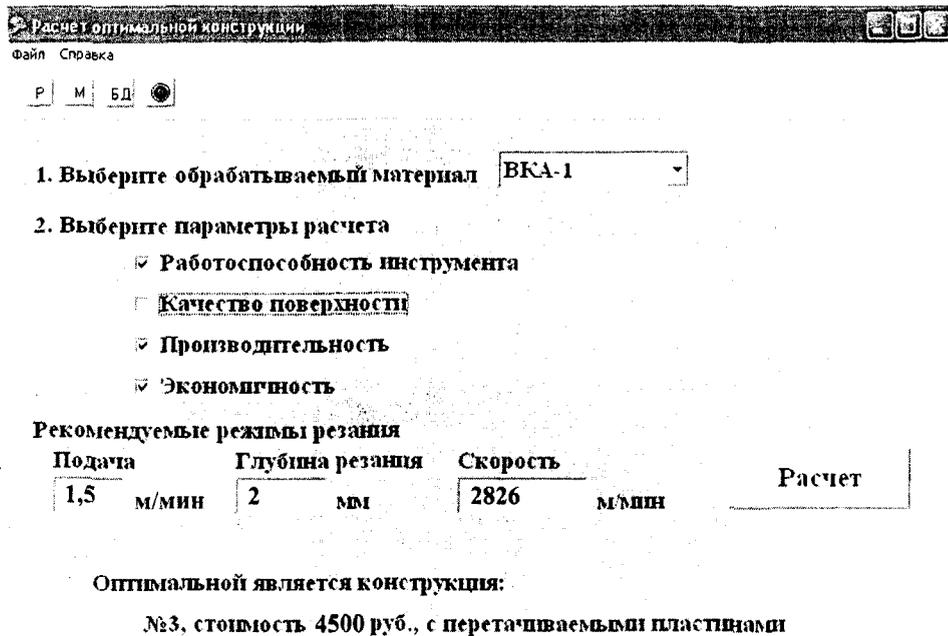


Рисунок 2 – Диалоговое окно модуля для выбора рациональной конструкции инструмента

С использованием современных методов оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, интерферометрии, сканирующей зондовой микроскопии проведены исследования известных методов электроалмазной обработки (электрохимическое шлифование и алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга) в сравнении с разработанным на кафедре комбинированным методом электрохимического шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга и традиционным алмазным шлифованием. Исследованы качественные характеристики (шероховатость и микротвердость) обработанных поверхностей, экономические показатели процесса резания (расход алмазного инструмента и эффективная мощность резания) и других показателей.

В качестве примера представлены результаты сравнительного исследования показателей обработки твердого сплава марки ВКЗМ различными методами электроалмазной обработки (рисунок 3).

Кроме того, показаны результаты, полученные с применением сканирующей зондовой микроскопии. Для сравнения приведены модели участка поверхности твердого сплава ТН20 после обработки электрохимическим шлифованием, алмазным шлифованием с непрерывной электрохимической правкой круга, разработанным нами комбинированным методом электрохимического шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга и традиционным алмазным шлифованием (рисунок 4).

Сравнительный анализ результатов исследований, проведенный по разработанной методике, позволил выявить преимущества комбинированного метода электрохимического

шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга. Положительный результат выявлен при обработке широкой гаммы труднообрабатываемых материалов.

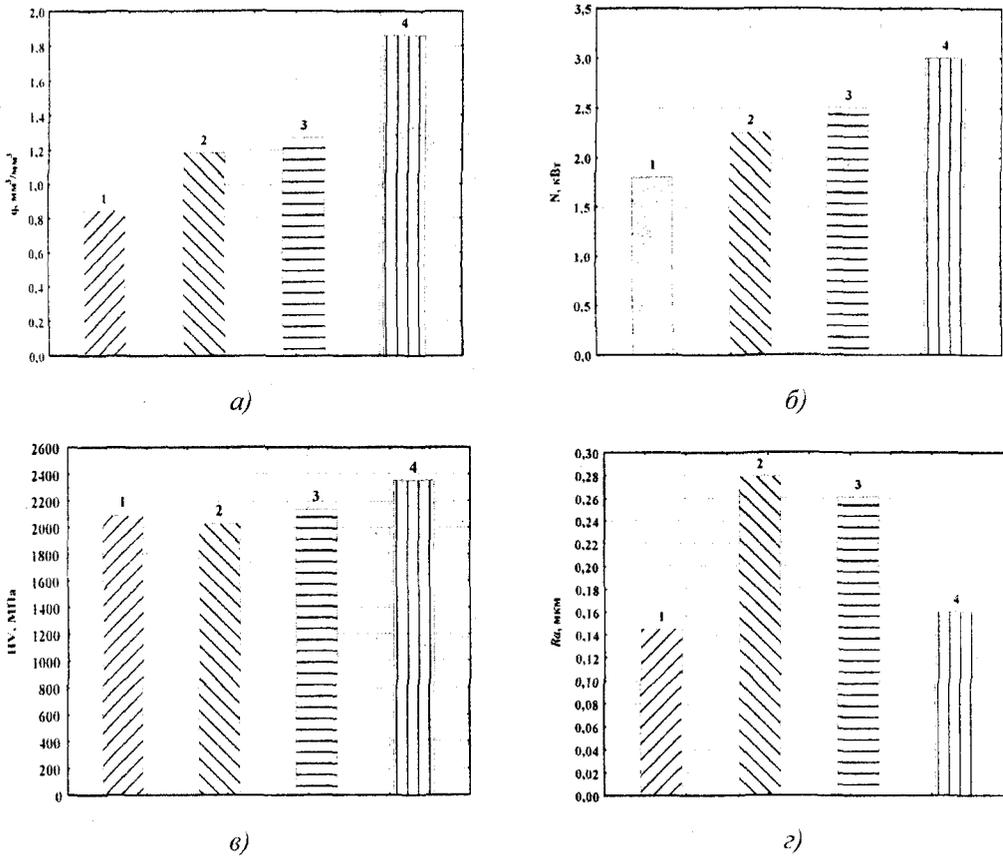


Рисунок 3 - Экономические и качественные показатели обработки сплава ВКЗМ различными методами электроалмазного шлифования

а) расход круга, б) мощность резания, в) микротвердость обработанной поверхности, г) шероховатость обработанной поверхности

1) комбинированный метод; 2) алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга; 3) электрохимическое шлифование; 4) традиционное алмазное шлифование

Таким образом, для рационального формообразования режущей части инструмента со специфической геометрией для обработки композиционных материалов, оснащенного высокопрочными, труднообрабатываемыми материалами предлагается использование представленного выше комбинированного метода электроалмазной обработки.

Для апробации работоспособности и производительности обработки композиционных материалов подготовленным по представленной системе мероприятий инструментом проведены исследования процесса фрезерования композиционных неметаллических материалов инструментом, оснащенный прогрессивными инструментальными материалами. Выявлено влияние геометрических характеристик инструмента и режимов обработки на качество изделий из композиционных материалов, установлены марки инструментальных материалов, обеспечивающие высокую работоспособность режущего инструмента. Разработаны рекомендации по совершенствованию организационно-технологической подготовки инструмента [6].

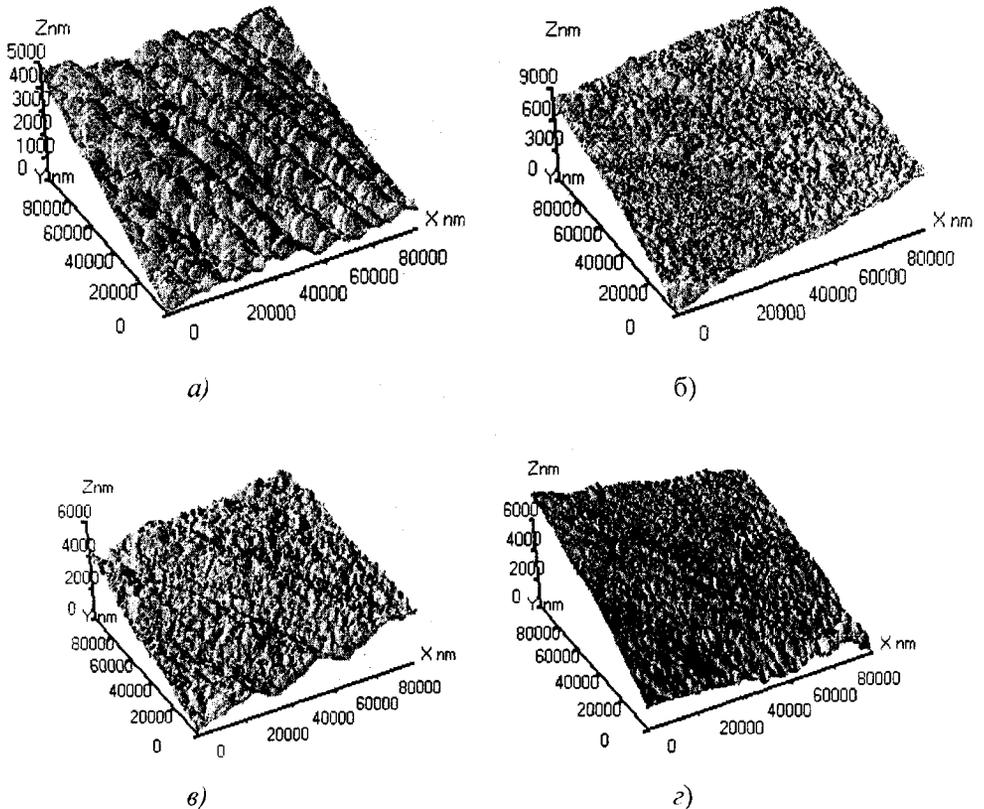


Рисунок 4 - Модели участка поверхности твердого сплава TN20 после обработки разными методами электроалмазного шлифования (сканирующая зондовая микроскопия)
 а) традиционное алмазное шлифование, б) электрохимическое шлифование в) алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга; г) комбинированный метод

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. Лобанов, Д.В. Анализ конструктивных решений фрезерного сборного инструмента для обработки композиционных материалов [Текст] / Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин // Технология машиностроения. – 2011. - № 5. – С. 20 – 25.
2. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Формирование базы данных фрезерного сборного инструмента. (DB Tools v.1.0). № 2007613694 [Текст] // А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков. 08.29.2007.
3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Определение оптимальной конструкции инструмента (Optim Tool v.1.0) [Текст] / Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Солин К.В., Кузнецов А.М. - № 2004612489, заяв. 2004.09.14- зарег. 2004.11.11
4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Формирование базы данных инструментов с возможностью выбора оптимальной конструкции фрезерного инструмента для заданных условий производства (DB Tools v.2.0). № 2010615966 [Текст] // А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков. 13.09.2010.
5. Пат. 2239525 Российская Федерация / МПК С1 В23 Н5/00, В24 В53/00. Устройство для комбинированной электроалмазной обработки с непрерывной правкой круга [Текст] / Янюшкин А.С., Ереско С.П., Лобанов Д.В., Сурьев А.А., Кузнецов А.М. - № 2003105413, заяв. 2004.02.25- опубл. 2004.11.10 Бюл. №31
6. Лобанов, Д.В. Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов [Текст]: монография / Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2011. – 192 с.

Лобанов Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», профессор РАЕ.
тел. (3953)325397
E-mail: mf_nauka@brstu.ru

Янюшкин Александр Сергеевич
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», академик МАН ВШ, член Международного союза машиностроителей.
тел. (3953) 325360
E-mail: yanyushkin@brstu.ru

D.V. LOBANOV, A.S. YANYUSHKIN

ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL PREPARATION OF THE CUTTING TOOL FOR PROCESSING OF COMPOSITE NONMETALLIC MATERIALS

In article actions for perfection of organizational-technological preparation of the tool for processing of composite nonmetallic materials are considered. Techniques and software products for perfection of organizational preparation of the tool at the enterprises which are engaged in manufacturing of products from composite materials are presented. Influence of methods of electrodiamond processing on quality of technological preparation of the tool is considered.

Key words: Composite materials, tool preparation, modeling, the software products, the combined electrodiamond processing.

BIBLIOGRAPHY

- [1]Lobanov, D.V. Analysis of the design decisions milling modular tool for processing composites [Text] / D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin // "Tekhnologiya Mashinostroeniya" – 2011 – P. 20-25.
- [2]Yanyushkin, A.S., Lobanov, D.V., and Rychkov, D.A., Registration Certificate 2007613694 for a Computer Program.
- [3]Yanyushkin, A.S., Lobanov, D.V., Sopin, K.V., and Kuznetov, A.M., Registration Certificate 2004612489 for a Computer Program.
- [4]Yanyushkin, A.S., Lobanov, D.V., and Rychkov, D.A., Registration Certificate 2010615966 for a Computer Program.
- [5]Russian Patent 2003105413/
- [6]Lobanov, D.V. Preparation of cutting tools for the processing of composite materials [Text] monograph / D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin.: Bratsk – 2011. – 192 p.

Lobanov Dmitry Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor of the department «Machin-building technology», FSEI HVT «Bratsk State University», Prof. RAE
Phone: (3953)325397
E-mail: mf_nauka@brstu.ru

Yanyushkin Aleksandr Sergeevich
Doctor of Technical Sciences, Prof., head of the department «Machin-building technology», FSEI HVT «Bratsk State University», academician IHEFS, member of the IUMB.
Phone. (3953) 325360
E-mail: yanyushkin@brstu.ru

УДК 621.9

И.В. ОВСЯНИКОВА, А.С. ТАРАПАНОВ, В.С. ШОРКИН

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Проведен системный анализ процессов обработки сложных поверхностей. Анализируемый процесс представлен параметрами шести групп, которые, в свою очередь, разделяются на входные и выходные - соответственно: технологической системы и качественных показателей формируемой поверхности. Предлагается модель управления процессом с пространственным отображением зоны обработки, которая варьируется в соответствии с алгоритмами оптимизации параметров.

Ключевые слова: системный анализ, параметры, модель управления, алгоритмы оптимизации.

Любой метод лезвийной обработки можно представить в обобщенном виде как совокупность параметров, объединенных определенным образом по общим признакам, например, в структурные группы по параметрам элементов технологической системы, детали, инструмента, режимов резания, т.е. по входным параметрам, характеризующим процесс обработки и влияние на динамические характеристики процесса резания. Динамические характеристики объединяются в группу, включающую параметры сил резания, динамическую жесткость технологической системы, амплитуду, частоту, период воздействия, а также коэффициент динамичности.

Требуемые показатели качества объединяются в группы выходных параметров и характеризуют эксплуатационные данные деталей, полученные при наибольшей производительности обработки. Исследуемый процесс, таким образом, можно представить параметрами шести групп (рисунок 1). Такой подход является основой для создания математической модели, отображающей исследуемый процесс с ее последующей оптимизацией с целью обеспечения выгодных режимов резания и оптимальных параметров инструментов в пределах ограничений, отражающих допустимые величины параметров качества обрабатываемой поверхности при максимальной производительности. Математическое обеспечение системы предусматривает комплексный подход, объединяющий как теоретические, так и экспериментальные исследования.

Многовариантность системы анализа и управления методами обработки резанием придает то обстоятельство, что каждая точка (реально – элемент фрактала) исследуемого пространства в зоне обработки обладает одновременно свойствами обрабатываемой детали, инструмента, определяется своим функционально-пространственным назначением и временем, содержит в рамках системы возможность управления в соответствии с внешне задаваемыми параметрами и ограничениями. К последним может быть отнесены качественные показатели номинальной поверхности, режимы резания, параметры установки инструмента, время обработки и ее стоимость.

$$\begin{aligned} x &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau, u), \\ y &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau, u), \\ z &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau, u). \end{aligned} \quad (1)$$

Параметр управления, в свою очередь, может быть функцией внешне задаваемых параметров, множество которых придает системе слишком большой стохастизм и нестабильность.

Рассмотрим вначале задачу, когда параметр управления отсутствует, если параметры, определяющие схему резания, выражены через основные параметры, определяющие процесс резания – параметр главного движения $\varphi(V)$, подачи $\varphi(S_n)$ и параметр режущего лезвия $\varphi(l)$:

$$\begin{aligned} x &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau), \\ y &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau), \\ z &= f(\varphi(V), \varphi(S_n), \varphi(l), \tau). \end{aligned} \quad (2)$$

В общем случае, положение плоскости резания p , изображенной на рисунке 2, значения кинематических углов в каждом элементе фрактала – переднего γ , заднего α , углов наклона режущей кромки, а также толщины срезаемого слоя можно определить следующим образом.

Согласно рисунку, λ - это угол между определяемой выше плоскостью и вектором $\overline{V_{KS}}$:

$$\lambda = \arcsin \left(\frac{\overline{V_{VS}} n}{V_{VS} n} \right) \quad (3)$$

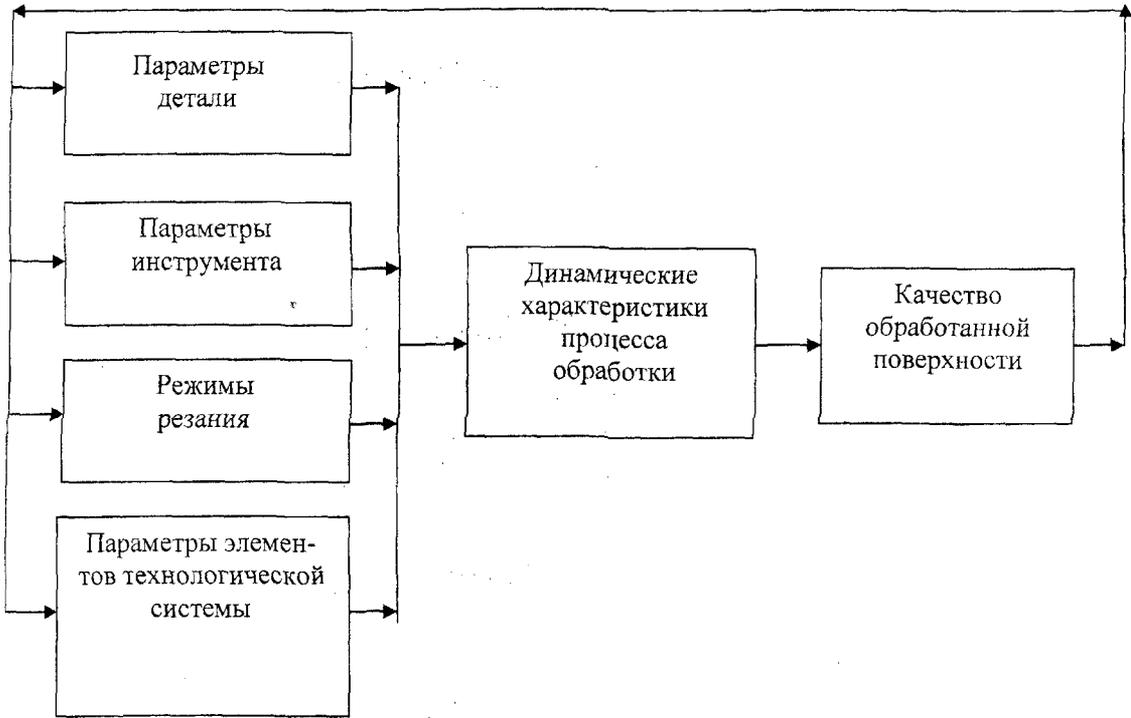


Рисунок 1 – Блок-схема анализа связей параметров процесса

Вектор \bar{a} , в направлении которого измеряется толщина срезаемого слоя, должен быть перпендикулярен к плоскости p в точке N (рисунок 2):

$$\bar{a} = \left\{ \left(V_{yVS} \frac{\partial z}{\partial \varphi(l)} - V_{zVS} \frac{\partial y}{\partial \varphi(l)} \right); \left(V_{zVS} \frac{\partial x}{\partial \varphi(l)} - V_{xVS} \frac{\partial z}{\partial \varphi(l)} \right); \left(V_{xVS} \frac{\partial y}{\partial \varphi(l)} - V_{yVS} \frac{\partial x}{\partial \varphi(l)} \right) \right\} \quad (4)$$

Спроектировав на направление вектора $\overline{V_S}$ вектор подачи \bar{a} , получим толщину срезаемого слоя

$$a = \frac{\bar{a} V_S}{|\bar{a}|} \quad (5)$$

Кинематическое изменение переднего угла γ определяется по формуле:

$$\Delta \gamma = \arctg \frac{a}{|V_V|} \quad (6)$$

Теоретические исследования включают разработку математических отображений процесса обработки. В качестве примера таких отображений можно рассмотреть обработку винтовых и зубчатых поверхностей фрезами в таблице 1.

Таблица 1 – Математические отображения схем резания в зависимости от метода формообразования

Метод формообразования	Математическое отображение схемы резания	Параметры	
Зубчатые поверхности	Червячные с радиальной подачей	$x = (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) \pm \Delta h \cos(\varphi) + S_p) \sin(\psi) - \left[\begin{matrix} (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) + \\ + S_p) \psi \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \end{matrix} \right] \cos(\psi);$ $y = (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) \pm \Delta h \cos(\varphi) + S_p) \cos(\psi) + \left[\begin{matrix} (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) + \\ + S_p) \psi \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \end{matrix} \right] \sin(\psi);$ $z = ((a_w - r_2 - S_p) \mp \Delta h) \sin(\varphi),$	m α_0 a_w S_p d_{a0} r_2
	спиральные	$x = (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) \pm \Delta h \cos(\varphi) + S_o) \sin(\psi) - \left[\begin{matrix} (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) + S_o) \psi \mp \\ \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \end{matrix} \right] \cos(\psi);$ $y = (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) \pm \Delta h \cos(\varphi) + S_o) \cos(\psi) - \left[\begin{matrix} (a_w - d_{a0} / 2 \cos(\varphi) + S_o) \psi \mp \\ \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \end{matrix} \right] \sin(\psi);$ $z = (C - S_o) - [(a_w - r_2) \pm \Delta h] \sin \varphi,$	S_o ψ φ
	Комплектом концевых фрез	$x = (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \sin \omega + p \varphi(S);$ $y = (A_w - (r_i + \Delta r) \cdot \cos \varphi(V)) \cdot \cos \varphi(S) - (B \omega + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L) \cdot \sin \varphi(S)));$ $z = B_w + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L))$	$x(u)$ $y(u)$ ω
Винтовые поверхности	Токарным резцом	$x = (\varphi(L) + \Delta \varphi(L)) + p \varphi(S);$ $y = (A_w - (y_i + \Delta y) \cdot \cos \varphi(V)) \cdot \cos \varphi(S) - (B \omega - (y_i + \Delta y) \cdot \sin \varphi(V)) \cdot \sin \varphi(S);$ $z = B_w - (y_i + \Delta y) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \cos \omega.$	A_w
	Торцевыми фрезой	$x = (\varphi(L) + \Delta \varphi(L)) \cdot \cos \omega + (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \sin \omega + p \varphi(S);$ $y = (A_w - (r_i + \Delta r) \cdot \cos \varphi(V)) \cdot \cos \varphi(S) - (B \omega - (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \cos \omega + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L) \cdot \sin \omega) \cdot \sin \varphi(S));$ $z = B_w - (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \cos \omega + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L)) \cdot \sin \omega.$	p

где m – модуль;
 α_0 – угол профиля;
«±» – входная или выходная кромка;
 a_w – межосевое расстояние,
 S_p – радиальная подача инструмента;
 d_{a0} – диаметр вершин червячной фрезы;
 r_2 – делительный радиус червячного колеса;
 S_o – осевая подача инструмента,
 C – смещение инструмента вдоль оси Z;
 $x(u), y(u)$, - функции, описывающие торцевой профиль винтовой поверхности, в координатах винта;
 u - параметр, описывающий положение точки в торцевом профиле;
 ψ_1 - параметр, описывающий положение профиля при его винтовом движении;
 p - винтовой параметр;
 ψ_2 - параметр, определяющий положение заготовки при ее вращении вокруг собственной оси;
 ψ_3 - параметр, определяющий положение поверхности при ее вращении вокруг оси инструмента;

ω - угол наклона инструмента, относительно винтовой поверхности;
 A_0 - межосевое расстояние между осью винтовой поверхности и осью инструмента.

Пространственное представление математического отображения схемы резания позволяет рассчитать траекторию любой точки режущей кромки в пространстве, а, следовательно, и определить кинематическое изменение углов резания и толщины срезаемых слоев.

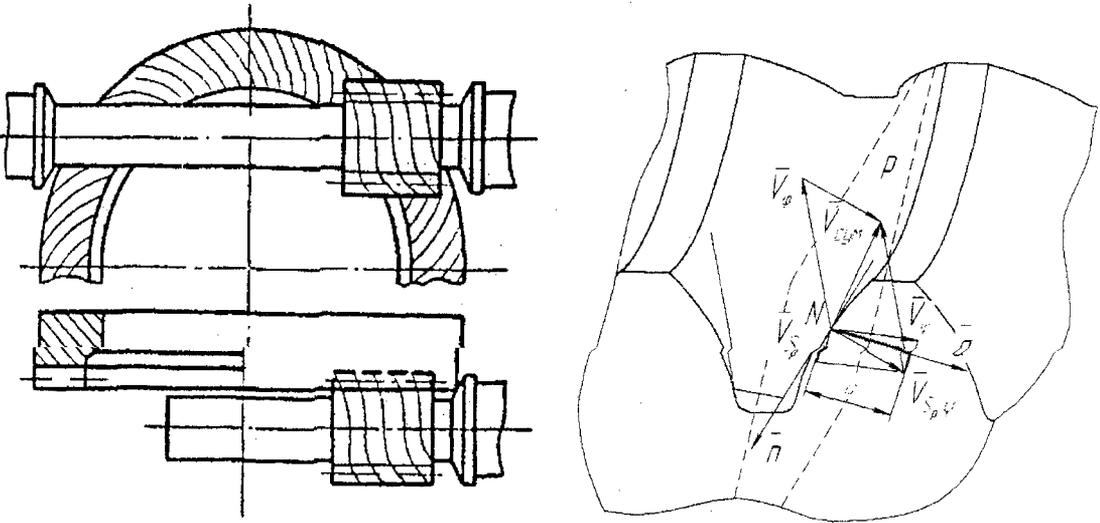


Рисунок 2 - Цилиндрическая спиральная передача и схема определения кинематических параметров

На основе данных математических моделей получены графические отображения движения вершины режущего лезвия при различных способах обработки.

Схема формообразования строится путем последовательного трансформирования исходного выражения, определяющего начальный профиль номинальной поверхности.

Предложенные формулы позволяют анализировать схемы резания при различных способах обработки.

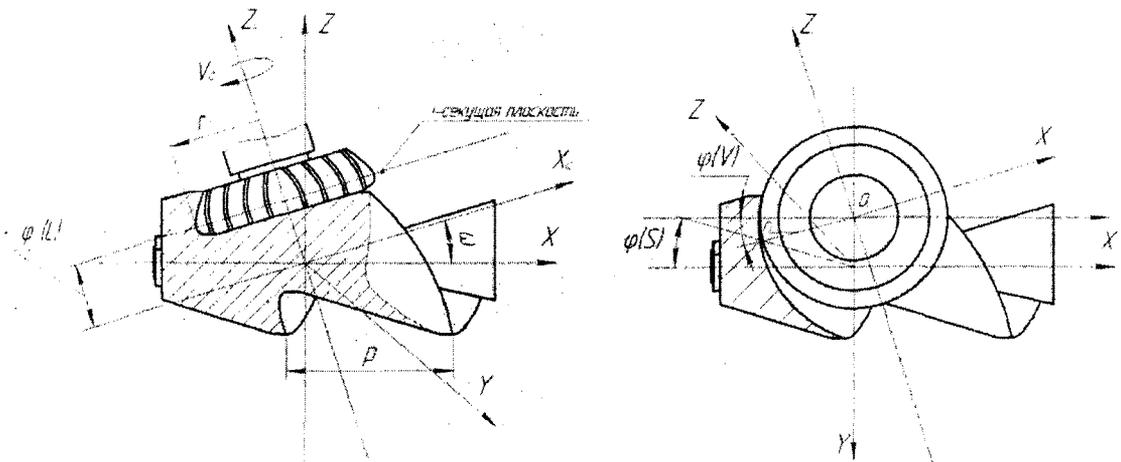


Рисунок 3 - Формирование полузакрытой винтовой поверхности торцевой фрезой

Таблица 2 - Формирование ограничений математической модели оптимизации процесса

Инструмент
 $x_1; x_2; x_3; x_4$

Деталь
 $x_5; x_6$

Режимы резания
 $x_7; x_8; x_9; x_{10}$

Параметры технологической системы / - X_{11}	
Математическая модель процесса	
$a_{12}x_2 + a_{13}x_1 + a_{14}x_3 + a_{15}x_4 + a_{16}x_5 + a_{17}x_7 + a_{18}x_8 + a_{19}x_9 + a_{20}x_{10} + a_{21}x_{11} \leq b_1$	
$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 + a_{26}x_6 + a_{27}x_7 + a_{28}x_8 + a_{29}x_9 + a_{30}x_{10} + a_{31}x_{11} \leq b_2$	
$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + a_{35}x_5 + a_{36}x_6 + a_{37}x_7 + a_{38}x_8 + a_{39}x_9 + a_{40}x_{10} + a_{41}x_{11} \leq b_3$	
$a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{45}x_5 + a_{46}x_6 + a_{47}x_7 + a_{48}x_8 + a_{49}x_9 + a_{50}x_{10} + a_{51}x_{11} \leq b_4$	
$a_{51}x_1 + a_{52}x_2 + a_{53}x_3 + a_{54}x_4 + a_{55}x_5 + a_{56}x_6 + a_{57}x_7 + a_{58}x_8 + a_{59}x_9 + a_{60}x_{10} + a_{61}x_{11} \leq b_5$	
$a_{61}x_1 + a_{62}x_2 + a_{66}x_6 + a_{67}x_7 + a_{68}x_8 + a_{69}x_9 \leq b_6$	
$a_{71}x_1 + a_{76}x_6 + a_{77}x_7 + a_{78}x_8 \leq b_7$	
$a_{81}x_1 + a_{86}x_6 + a_{87}x_7 + a_{88}x_8 \leq b_8$	
$a_{91}x_1 + a_{96}x_6 + a_{97}x_7 + a_{98}x_8 \leq b_9$	
Функция цели	
$f_0 = x_1 + x_2 + x_3 - x_4 - x_5 - x_6 - x_7 - x_8 - x_9 - x_{10} - x_{11}$	

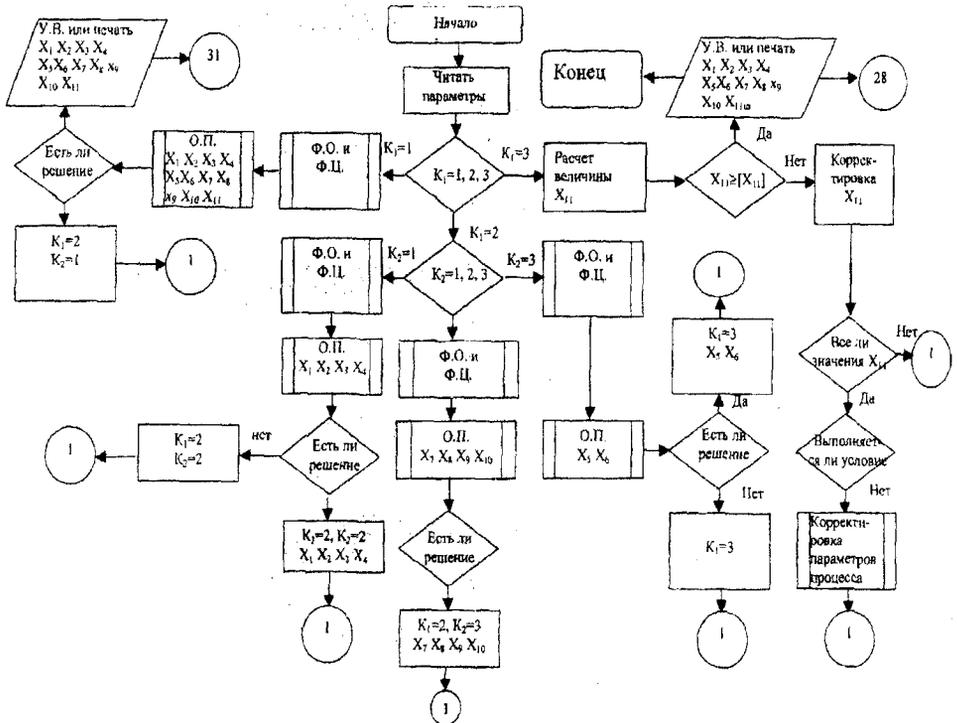


Рисунок 4 - Блок-схема оптимизации параметров и управления процессом: У.В. - управляющее воздействие; О.П. - оптимизация параметров; Ф.О. и Ф.Ц. - формирование ограничений и функции цели

Параметры, определяемые по общей разработанной методике могут быть рассчитаны для любого зуба инструмента в любой момент времени.

Конечной целью разработки математического отображения является получение зависимостей, позволяющих рассчитать колебания составляющих силы резания в процессе всего времени обработки, для различных конструкций инструмента и определить погрешности обработки, вызванные упругими деформациями технологической системы под воздействием *переменности силы резания, являющиеся доминирующими в суммарной погрешности обработки.*

Входные параметры, представляющие собой характеристики инструмента, детали, режимов резания и элементов технологической системы, вводятся в считывающий блок 1. Для варианта $2 - k_1 = 1$ формируются ограничения и функция цели 3. Затем выполняется оптимизация 4 параметров X_6 и при наличии удовлетворительного решения осуществляется управляющее воздействие на технологическую систему или печать 6. Если решение не найдено, перебираются варианты $k_1 = 2$ и $k_2 = 1$, и действия возвращаются к блоку 1. Если решение и в этом случае не найдено, выбирается вариант 8, и формируются ограничения и функция цели 9 по варианту $k_2 - 1$ с четырьмя параметрами 10, характеризующими инструмент. При удачных вариантах 10, 11, 12 действия возвращаются к исходному блоку 1. Но и этот анализ может окончиться неудачей 13, тогда формируется программа по параметрам, характеризующим режимы резания. При этом принимается во внимание вариант $k_1 = 2$ и снова формируются ограничения и функции цели 14. анализ 15, 16, 17 выполняется так же, как и в первом случае. При неудаче 18 решается еще один вариант $k_2 = 3$: с двумя параметрами, характеризующими саму деталь (заготовку) 19, 20, 21, 22. Деталь, обладая определенной жесткостью, оказывает влияние на характеристику технологической системы, поэтому результат не всегда оказывается удовлетворительным 29. В этом случае с учетом варианта $k_1 = 3$ выполняются расчет 23 жесткости и сравнение с допустимой величиной 24. если жесткость находится в допустимых пределах, то осуществляется управляющее воздействие или печать всех операндов с несколькими вариантами допустимой по величине жесткости технологической системы 25, при этом поиск оптимального решения заканчивается. Если ни одна величина жесткости, полученная расчетом, не находится в допустимых пределах, то выполняются ее корректировка 26 за счет конструктивного решения и соответствующие операции 27, 28. Если и эти меры не дают положительных результатов, то корректируются параметры процесса 30 и программа вновь возвращается в исходное положение 1. Действия повторяются до тех пор, пока не будут найдены оптимальные условия работы.

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. Брусов, С.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Комплексный анализ параметров лезвийной обработки винтовых поверхностей [Текст] : монография / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов // М.: Машиностроение-1, 2006.
2. Брусов, С.И. Концепция программной системы для исследования параметров резания при обработке винтовых поверхностей [Текст] / С.И. Брусов, А.П. Гордиенко, А.Л. Правдин, А.С. Тарапанов // Известия Орел ГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОрелГТУ, 2007, №2. – С. 87–91.
3. Полохин, О.В. Сухарский И.Н., Тарапанов А.С. Исследование кинематических параметров процессов фрезерования червячных колес с радиальной подачи [Текст] / О.В. Полохин, И.Н. Сухарский, А.С. Тарапанов // Высокие технологии в машиностроении. Материалы международной научно-технической конференции. Самара: Самарский гос. техн. ун-т. - 2008. - С. 169 – 174

Ирина Васильевна Овсянникова
Кандидат экономических наук,
доцент
ФБГОУ ВПО «Государственный
университет-
учебно-научно-производственный
комплекс»
Тел: (4862) 41-98-34

Александр Сергеевич Тарапанов
Доктор технических наук, профес-
сор
ФБГОУ ВПО «Государственный
университет-
учебно-научно-производственный
комплекс»
Тел: (4862) 54-15-03

Владимир Сергеевич Шоркин
Доктор физико-математических
наук, профессор
ФБГОУ ВПО «Государственный
университет-
учебно-научно-производственный
комплекс»
Тел: (4862) 41-98-89, 41-98-44

I.V. OVSIANIKOVA, A.S. TARAPANOV, V.S. SHORKIN

MANAGE THE PROCESS OF CREATING COMPLEX SURFACES

A system analysis of the processing of complex surfaces. The analyzed process submitted by six groups, which in turn are divided into input and output respectively: technological and qualitative forming system. Proposed model management with spatial display of processing zone, which varies in accordance with algorithms of optimization options.

Keywords: System analysis, options, model management, optimization algorithms.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Brusov, S.I. Comprehensive analysis of parameters of lezvjinoj processing of screw surfaces [Text]: monograph / S.I. Brusov, A.S. Tarapanov, G.A. Kharlamov // m.-1: mechanical engineering, 2006.
- [2] Brusov, S.I. The concept of a software system for the study of the cutting parameters when processing screw surfaces [Text] / S.I. Brusov, A.P. Gordienko, A.L. Pravdin, A.S. Tarapanov // Izvestiya Eagle GTC. Fundamental and applied problems of technique and technology. Oryol: OrelGTU, 2007, no. 2. -S. 87-91
- [3] Polokhin, O.V. Study of kinematic parameters of processes of milling worm wheel with radial feed/O.V. Polokhin, I.N. Sukharskii, A.S. Tarapanov // High technology in industry. The materials of the international scientific and technical conference. Samara: Samara State. technology. CR-t., 2008. S. 169-174.

Irina Vasilievna Ovsianikova
candidate of economic sciences, do-
cent
FBGOU VPO "State University-
educational-scientific-production
complex"
Tel: (4862) 41-98-34

Alexander Sergeevich Tarapanov,
doctor of technical sciences, Profes-
sor
FBGOU VPO "State University-
educational-scientific-production
complex"
Tel: (4862) 54-15-19

Vladimir Sergeevich Šorkin
doctor of physical-mathematical sci-
ences, Professor
FBGOU VPO "State University
-educational-scientific-production
complex"
Tel: (4862) 41-89, 98-98-41-44

УДК 621.791

Ю.Н. ПОЛЯНЧИКОВ, Н.И. ЕГОРОВ, М.Ю. ПОЛЯНЧИКОВА

ПОВЫШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАВОДОРАЖИВАНИЯ ЗАГОТОВОК

*В статье рассматривается исследование параметров электролитического наводо-
раживания заготовок на заданную глубину проникновения диффузионного водорода. Резуль-
таты исследований предложено использовать для изменения типа стружки и параметров
шероховатости при резании металла.*

*Ключевые слова: диффузия, водород, твердость, хрупкость, шероховатость,
стружка, резание.*

ВВЕДЕНИЕ

В современной специальной литературе исследуется проблема хранения, транспорти-
рования и утилизации выющейся стружки. Транспортирование выющейся металлической

стружки для сдачи на переплавку неэкономично, так как полезный объем транспортных средств используется не в полной мере.

Для перевода выюшейся стружки в стружку надлома необходимо поверхностный слой припуска заготовки перевести в хрупкое состояние путем насыщения его диффузионным водородом. Водородное охрупчивание поверхностного слоя заготовки можно осуществить путем электролитического насыщения диффузионным водородом [1].

Известно, что с увеличением твердости обрабатываемого материала высота шероховатости снижается. Повысить твердость материала можно путем электролитического насыщения диффузионным водородом при комнатной температуре [1]. Это не дорогой метод повышения твердости, при этом отсутствует деформация и можно обрабатывать детали в широком диапазоне скоростей резания при высоком качестве поверхности.

Повышение твердости при наводороживании сопровождается снижением ударной вязкости, пластических и прочностных свойств металлов. Для исключения вредного влияния водорода на эксплуатационные свойства детали после обработки необходимо, чтобы водородное охрупчивание проявлялось в пределах припуска на обработку.

Для определения глубины проникновения водорода в металл необходимо определить температурную зависимость коэффициента диффузии водорода для различных сталей.

Определение D_H производили по методу десорбции в вакуум [2]. Перед испытанием образцы насыщали диффузионным водородом в электролитической установке с платиновым анодом (рисунок 1, а).

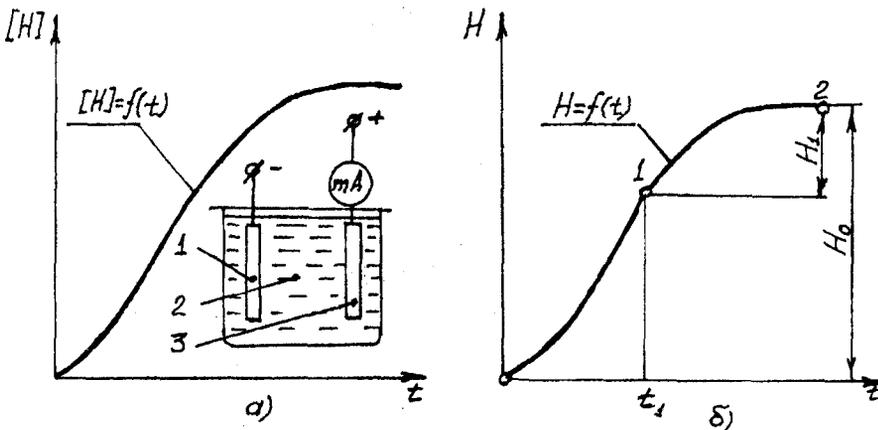


Рисунок 1 - Графики зависимости концентрации водорода от времени:
а - электролитическое наводороживание и схема электролитической установки;
б - измерение кинетики десорбции водорода;

$[H]$ – концентрация растворенного в образце водорода; H – количество выделившегося из образца газообразного водорода; t – время; H_0 – начальное количество водорода в образце;

H_1 – оставшееся количество водорода в образце ко времени t_1 ;

1 – образец; 2 – электролит; 3 – платиновый анод

В качестве электролита использовали 0,1 н. р-р $H_2SO_4 + 0,5г/литр$ тиомочевины. Плотность тока наводороживания составляла $0,75mA/cm^2$. Измерение кинетики десорбции водорода в вакуум, производили в вакуумной установке (рисунок 1, б). При создании установке использовались узлы эксхолографа швейцарской фирмы «Бальцерс» (рисунок 2.) [2]. В верхней части установки располагается капсульная печь 1. Графитовая капсула 2 выполняет функции тигля и нагревается проходящим электрическим током. Насосы 3 и 4 служат для создания вакуума 8×10^{-3} мм.рт.ст.в печи. Газоноситель (Ar) из баллона через редуктор, захватывая собранную газовую смесь, транспортирует ее на хроматограф 6 (ЛХМ–8МД), где измеряется количество водорода.

По данным скорости выхода водорода вычислялся коэффициент диффузии водорода D_H по формулам [2]:

а) для цилиндрических образцов:

$$D_H = \frac{R^2}{\mu_i^2 t_1} \ln \frac{H_0}{H_1} \quad (1)$$

где: R – радиус образца; $\mu_i^2 = 5,78$; H_0 – начальное количество водорода в образце; H_1 – оставшееся количество водорода ко времени t_1 .

б) для плоских образцов:

$$D_H = \frac{4h^2}{\pi^2 t_1} \ln \frac{8H_0}{\pi^2 H_1} \quad (2)$$

где: $2h$ – толщина образца.

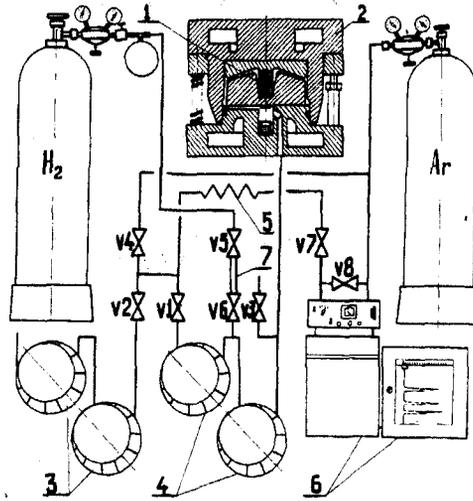


Рисунок 2 – Принципиальная схема вакуумной установки для анализа экстрагированного газа:
1 – образец; 2 – вакуумная печь; 3 – насос форвакуумный насос; 4 – газосборочный; 5 – газосборник;
6 – газовый хроматограф; 7 – калиброванный объем

Исследована температурная зависимость D_H для сталей различного химического состава. Исследовались, стали Ст3, 14X2H3MA, 18X2H3MA, 18X2H4MA, 08X15H5D2T, АК45, 40XH и X16H25M6АФ (рисунок 3). Исследуемые стали относятся к феррито-перлитному, перлитному, бейнитному, мартенситостареющему и аустенитному структурным классам. В зависимости от химического состава стали изменяется и общий характер зависимости. С увеличением общего количества легирующих элементов значение D_H уменьшается для соответствующих температур (таблица 1).

По приведенным результатам температурной зависимости коэффициента диффузии для сталей различных структурных классов можно рассчитать необходимое время выдержки t_H электролитического наводороживания заготовки на глубину операционного припуска по формуле:

$$t_H \geq 0,280 \frac{Z^2}{D_H}; \text{ с} \quad (3)$$

где Z – номинальный (расчетный) операционный припуск, см;

D_H – коэффициент диффузии водорода при температуре наводороживания см²/с;

Например, для детали Ø50мм из стали 40XH при температуре $T=80^\circ\text{C}$ коэффициент диффузии водорода равен $D_H = 3,83 \cdot 10^{-6}$ см²/с. Тогда необходимое время наводороживания при номинальном операционном припуске $Z=2$ мм будет равно:

$$t_{II} \geq 0.280 \frac{0.2^2}{3.83 \cdot 10^{-6}} = 2924 \text{с или } 49 \text{ мин}$$

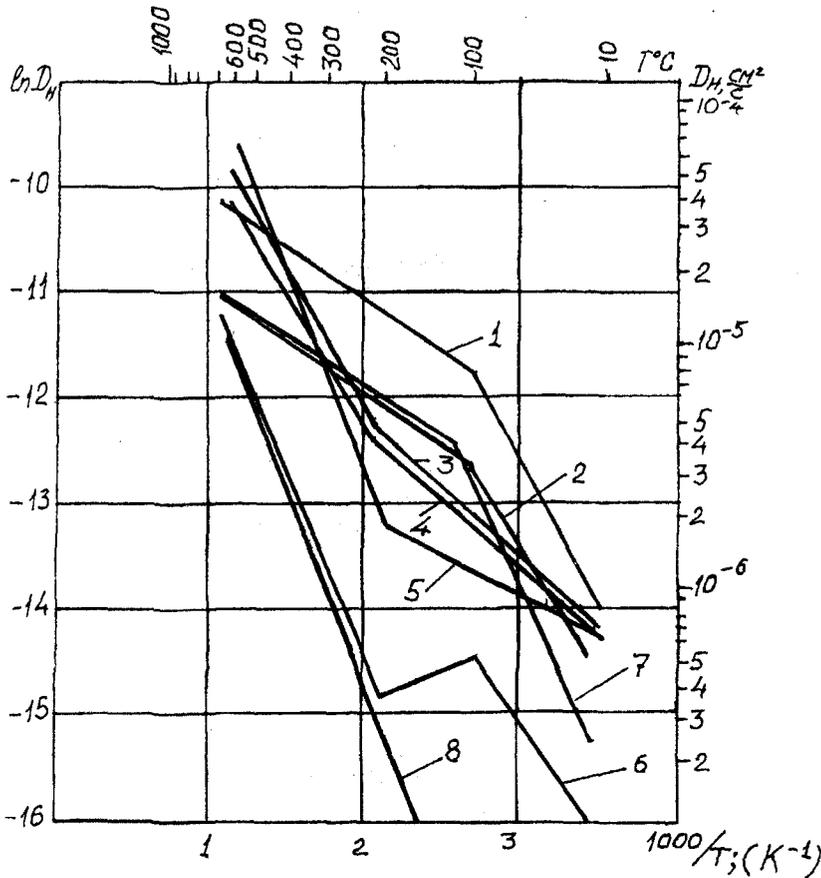


Рисунок 3 - Температурная зависимость коэффициента диффузии водорода для сталей:
 1 - Ст-3; 2 - 18Х2Н3МА; 3 - 18Х2Н4МА; 4 - 142Н3МА; 5 - АК 45; 6 - 08Х15Н5Д2Т; 7 - 40ХН;
 8 - Х16Н25М6АФ

Методика электролитического наводороживания заготовки и схема установки приведены выше (рисунок 1, а).

Приведенные результаты можно использовать для технологических рекомендаций по получению стружки надлома для уменьшения затрат на хранение и транспортировку металлолома от металлообрабатывающих цехов и для снижения шероховатости поверхности детали без отрицательного воздействия водорода.

ВЫВОД

1. Для получения стружки надлома вместо вьющейся при резании, и снижения шероховатости обрабатываемой поверхности детали предложено применять электролитическое наводороживание заготовок.

2. Для исключения вредного влияния водорода на эксплуатационные свойства детали электролитическое наводороживание заготовок проводить на глубину операционного припуска на обработку.

3. Для определения глубины наводороживания проведено измерение температурной зависимости коэффициента диффузии водорода для различных сталей.

4. Приведена формула, методика и пример расчета времени электролитического наводороживания на глубину операционного припуска.

Таблица 1 - Параметры температурной зависимости коэффициента диффузии водорода $D_H = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{T}\right)$, где: T - термодинамическая температура, К

Марка стали	$T > 200-100^\circ\text{C}$		$T < 200-100^\circ\text{C}$	
	D_0	Q	D_0	Q
Ст-3	$1,07 \cdot 10^{-4}$	990	$3,51 \cdot 10^{-2}$	3080
18X2H3MA	$6,13 \cdot 10^{-5}$	1110	$8,67 \cdot 10^{-4}$	2220
18X2H4MA	$1,11 \cdot 10^{-3}$	2720	$5,28 \cdot 10^{-5}$	1150
14X2H3MA	$5,53 \cdot 10^{-4}$	2430	$4,54 \cdot 10^{-5}$	1230
AK-45	$5,63 \cdot 10^{-3}$	3750	$8,72 \cdot 10^{-6}$	730
08X15H5Д2Т	$5,06 \cdot 10^{-4}$	3590	$1,01 \cdot 10^{-4}$	1980
40XH	$6,44 \cdot 10^{-5}$	1070	$6,34 \cdot 10^{-2}$	3750
X16H25M6AF	$5,26 \cdot 10^{-4}$	3370	$5,26 \cdot 10^{-4}$	3370

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. Егоров, Н.И. Определение времени катодного наводороживания для снижения высоты неровностей обрабатываемой поверхности [Текст] / Н.И. Егоров // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – С. 12-15.

2. Егоров, Н.И. Исследование эффективного коэффициента диффузии водорода в условиях термического цикла сварки [Текст] / Н.И. Егоров, А.А. Емельяненко // Сварочное производство. – 2011. - №8. – С. 12-17.

Юрий Николаевич Полянчиков
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический
университет»
Тел: (8442) 23-15-05, 24-84-29

Николай Иванович Егоров
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический
университет»
Тел: (8442) 64-74-92, 24-84-38
E-mail: egorov_ni@mail.ru

Мария Юрьевна Полянчикова
Кандидат технических наук,
старший преподаватель
ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический
университет»
Тел: (8442) 23-18-64, 24-84-38
E-mail: polyanka86@mail.ru

YU. N. POLYANCHIKOV, N.I. EGOROV, M.YU. POLYANCHIKOVA

THE RAISING OF THE CUTTING PARAMETERS BY WORK PIECES SURFACE HYDROGENATION

The article deals with research of the parameters of electrolytic work pieces hydrogenation to the preset depth of penetration of the diffusive hydrogen. The results of the investigation can be used to change the shavings type and roughness parameters in metal cutting.

Keywords: diffusion, hydrogen, hardness, brittleness, roughness, shaving, cutting.

BIBLIOGRAPHY

[1]Egorov, N.I. Determination of cathode hydrogenation time for the reducing the height of the treated surface roughness [Text] / N.I. Egorov // VolSTU tidings, «Advanced Technologies in Mechanical Engineering» serie, vol. 7: interuniversity digest of scientific articles. / VolSTU.- Volgograd. - 2011. - P. 12-15.

[2]Egorov, N.I. Investigation of the effective diffusion coefficient of hydrogen in a thermal cycle of welding [Text] / N.I. Egorov, A.A. Emelianenko // Welding production. - 2011. - №8. - P. 12-17.

Yuri Nikolaevich Polyanchikov
 Doctor of Technical Sciences, Professor
 FSEBE of the HPE «Volgograd state technical university»
 Tel: (8442) 23-15-05, 24-84-29

Nikolay Ivanovich Egorov
 Ph.D. Of Technical Sciences, Associate Professor
 FSEBE of the HPE «Volgograd state technical university»
 Tel: (8442) 64-74-92, 24-84-38
 E-mail: egorov_ni@mail.ru

Maria Yurievna Polyanchikova
 Ph.D. Of Technical Sciences, senior Lecturer
 FSEBE of the HPE «Volgograd State technical university»
 Tel: (8442) 23-18-64, 24-84-38
 E-mail: polyanka86@mail.ru

УДК 621.757

П.Г. ПЫРИКОВ, А.С. РУХЛЯДКО, А.О. ГОРЛЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются технологические пути повышения работоспособности неподвижных соединений в машинах и оборудовании на основе управления контактными характеристиками. Проанализированы возможности изменять контактное давление и, тем самым, величину податливости деталей на основе магнитострикции при индуцировании соединения внешним магнитным полем. Приведены результаты исследований сближения h от контурного давления p_c , а также кривые индентирования текстурированных магнитострикционных покрытий деталей.

Ключевые слова: неподвижные соединения, контактные характеристики, магнитострикция, надежность, герметичность.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ технологических и функциональных параметров работоспособности неподвижных соединений позволяет отметить возможность их объединения в две группы: влияющих на характеристики контактного взаимодействия сопрягаемых деталей и определяющих свойства герметизируемой среды.

Следует заметить, что качественная и количественная меры оценки факторов, относящихся к первой группе, главным образом, нормативно определены как конструктивно, так и технологически: это точность изготовления деталей, точность их соединения на стадии сборки, качество соединения. Можно допустить, что динамика контактного взаимодействия поверхностей деталей с учетом свойств конструкционных материалов и их физико-механических (химических и др.) характеристик также в известной мере оказывается прогнозируемой и может быть представленной как в аналитическом, так и в эмпирическом виде. Присущие неподвижным соединениям контактные перемещения способствуют снижению ударных нагрузок, однако при этом способны инициировать деформационные процессы, что в ряде случаев приводит к снижению герметичности стыка.

Однако сложнее, оказывается, прогнозировать работоспособность соединений, если в число факторов, ее определяющих, ввести динамику свойств герметизируемой среды. В различных технологических машинах и гидроприводах оборудования, эксплуатируемых в агрессивных средах, снижение герметичности соединений является одной из основных причин существенного ухудшения работоспособности.

Очевидно, комплексные процессы, протекающие в зонах контакта деталей, обуславливающие сложные физико-механические явления пластической деформации, перераспределения поля температур в сочетании со структурными превращениями, существенно влияют на состояние поверхностных слоев. Эти изменения способны проявляться в образовании окисных пленок и твердой фракции окислов, окислительно-восстановительных электрохимических процессов, механическом разрушении выкрашиванием и истиранием. Присутствие герметизируемой среды при этом вносит существенные коррективы в ход их протекания, что в конечном итоге влияет на работоспособность соединения. Попадание газовой или жидкой среды на контактируемые поверхности деталей в условиях электризации, причиной которой оказываются процессы трения, приводит к структурной (параметрической) изменчивости, способной существенно повлиять на характер контактного взаимодействия. К примеру, вода, попадающая в гидросистему с маслом, ускоряет процесс его окисления, вызывает гидролиз неустойчивых присадок, что является следствием электрохимической коррозии, способствует образованию шлама неорганического и органического происхождения, засорению фильтров и зазоров в соединениях.

Управление контактными характеристиками для большинства типов неподвижных соединений, в основном, сводится к оптимизации величины контактного давления, контактной жесткости и обеспечения совместимости материалов сопряжения при благоприятном сочетании шероховатости, поверхностной твердости, остаточных напряжений и структуры материалов [1]. Причем сложность оптимизации величины контактной жесткости и недостаточный объем регламентирующей информации по ее учету в качестве критерия работоспособности соединений существенно затрудняет обеспечение регламентированных показателей надежности машин. С учетом этого исследование и разработка новых подходов к управлению их функциональными характеристиками с позиций обеспечения надежности соединений приобретает особую значимость.

Особая роль при этом принадлежит различным технологиям, изменяющим энергетическое состояние материалов, обусловленное в частности полем остаточных напряжений, вязкостью, электрической или магнитной напряженностью. Установлено, что оно способно в существенной степени определять ход протекания деформационных процессов в поверхностных слоях деталей соединений. С учетом этого, одной из основных задач исследований являлась разработка технологических путей управления энергетическим состоянием материалов при обеспечении плотности стыка и одновременной минимизации пластических деформаций.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

В большинстве случаев появление пластической деформации при обеспечении регламентированного натяга определяет условие, при котором предел текучести материала должен превышать не только номинальные, но и контурные давления. При возрастании нагрузки (номинального давления) происходит образование участков разрушения в сочетании с участками, претерпевающими упругие и пластические деформации, что связано с неравномерным пластическим насыщением в пределах контурной площади контакта (КПК). С повышением температуры и снижением модуля упругости материалов характер разрушения оказывается менее выраженным.

Принимая во внимание, что КПК определяется деформационными процессами, изменяя эффект магнитострикции (механострикции) при помещении соединения во внешнее индуцированное магнитное поле представляется возможным управлять величиной контактного давления на стыке, тем самым способствуя повышению герметичности. Учитывая, что величина магнитострикции оказывается технологически управляемой, например, за счет предварительного поверхностного текстурирования деталей, представляется возможным сформировать благоприятный уровень магнитострикционных напряжений, влияющих на контактное давление.

Следует заметить, что магнитострикция влияет на величину натяга за счет изменения величины податливости S_N поверхностного слоя сопрягаемых деталей при индуцировании:

$$S_N = x(t) + (\xi_{(hkl)}(B) \cdot k) / N^* , \quad (1)$$

где $x(t)$ – нормальное контактное смещение в функции времени;

$\xi_{(hkl)}(B)$ – тензор магнитострикции при регламентированном кристаллографическом упорядочении, учитывающий пластические деформации в деталях (в покрытиях), изменяющийся с магнитной индукцией;

k – коэффициент кристаллографического упорядочения;

N^* – динамическая нагрузка.

Таким образом, величина номинального давления в соединениях с натягом возрастает вследствие того, что часть напряжений, расходуемых на податливость деталей сопряжения, компенсируется магнитострикционными напряжениями. По этой же причине фактический натяг оказывается больше расчетного.

При совмещении нормальных и тангенциальных нагрузок в соединении касательная компонента податливости определяется в виде:

$$S_\tau = x(x(t)) - (\xi_{(hkl)}(B) \cdot k) / N^* \cdot f , \quad (2)$$

где $x(x(t))$ – касательная компонента смещения $(x(t))$;

f – коэффициент трения.

При преобладающей осевой нагрузке:

$$S_y = x''(x(t)) - (\xi_{(hkl)}(B) \cdot k) / \tau^* , \quad (3)$$

где $x''(x(t))$ – амплитудное значение вынужденных осевых колебаний в пределах предварительного смещения;

τ^* – касательное напряжение, соответствующее $x''(x(t))$.

Вариация величины номинального давления в соединении и, следовательно, величины натяга в зависимости от кристаллографического направления деформации и магнитострикции может составлять до 25 - 30 %.

УПРАВЛЕНИЕ КОНТАКТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ОСНОВЕ МАГНИТОСТРИКЦИИ

Учет сближения при оценке конструктивной податливости деталей соединения выражается в фактически заниженной величине контактных давлений. Из этого следует, что при обеспечении контактной жесткости соединения становится очевидной необходимость управлять величиной давления на стыке, не допуская значительных пластических деформаций. Однако такое условие оказывается технологически труднореализуемым, особенно при формировании посадок с гарантированным натягом. Кроме того, становится проблематичным обеспечивать герметичность, которая, в частности, зависит от плотности стыка, определяющейся упруго-пластическими свойствами материалов соединения.

С учетом этого, некоторые пути решения задач по управлению контактными характеристиками неподвижных соединений представлены на рисунке 1.

Анализируя схемы нагружения неподвижных соединений разных типов следует заметить, что в большинстве случаев вектор N нагрузки, создающей контактное давление, оказывается определенным. Податливость материала в плоскости ему нормальной обуславливает сдвиговые деформации, ослабляющие плотность стыка. С учетом этого определенную эффективность следует ожидать от формируемых на поверхности деталей сопряжения текстурированных пластически деформируемых покрытий со стабильно высоким магнитострикционным эффектом при намагничивании внешним полем. К таким покрытиям, в частности, могут быть отнесены различные интерметаллические соединения на основе редкоземельных металлов типа RFe_2 и др. [5], а также сплавы типа $Fe - Ni$, $Fe - Co$, $Fe - Pt$ и др.

Регламентированное кристаллографическое упорядочение при этом создает эффект механической анизотропии, вследствие чего в направлении вектора N создаются облегчен-

ные условия для пластической деформации, способствующей повышению плотности стыка и его герметичности. В плоскости действия касательной компоненты $x(x(t))$ смещений одновременно возникают напряжения сопротивления со стороны магнитострикционной и кристаллографической (анизотропной) составляющих напряженного состояния в материале покрытия.

В результате магнитострикции материал покрытия, пластически деформируясь, заполняет впадины шероховатостей на стыкуемых поверхностях (при формировании покрытия на одной детали), выполняя роль герметизирующей среды. При этом материал нижележащих слоев деформируется преимущественно упруго. Величина натяга определяется суммой давлений, создаваемых при сборке соединения и магнитострикции.

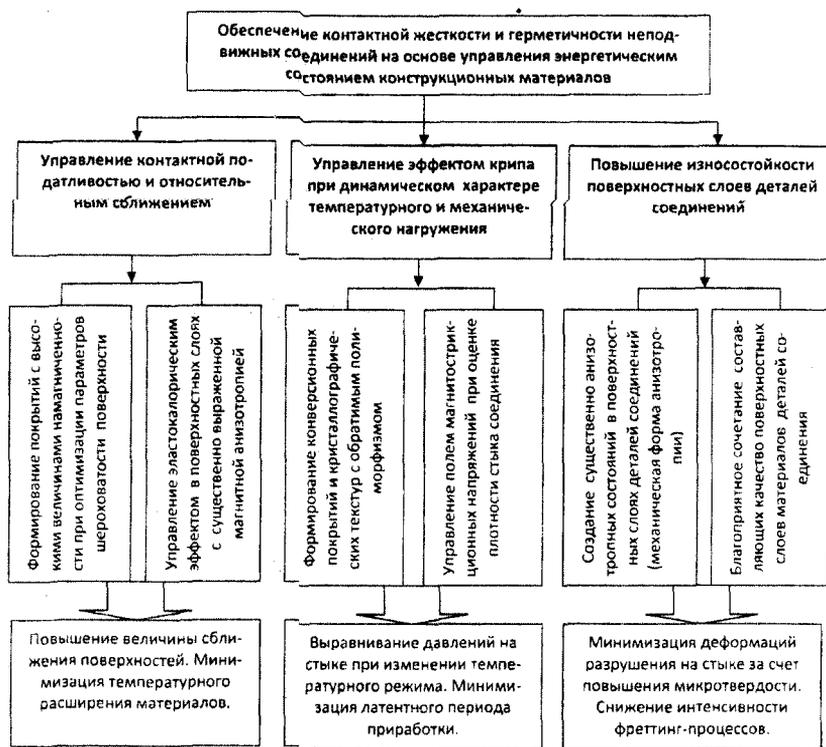


Рисунок 1 – Формирование регламентированных контактных характеристик неподвижных соединений на основе управления энергетическим состоянием конструкционных материалов

Важно заметить, что для ряда магнитострикционных материалов проявление анизотропии пластических свойств выражено в большей степени - в области упругих деформаций материал может вести себя как квазиизотропный. Это существенно в тех случаях, когда герметичность соединения обусловлена силами трения.

Ориентируя кристаллографические направления с максимумом прочностных свойств параллельно действию касательной компоненты напряжений, представляется возможным частично их компенсировать, тем самым выровнять контактное давление на стыке.

Очевидно, что энергия намагничивания магнитно-анизотропных материалов зависит от кристаллографического направления. При регламентированном упорядочении направлений легчайшего намагничивания (НЛЧ) в кристаллах покрытия магнитострикция оказывается существенно анизотропной. При магнитных превращениях в ферромагнитных материалах происходит образование доменной структуры – чередующихся слоев с взаимно противоположным направлением намагниченности, которые способны однонаправленно расти в магнитном поле, изменяя объем среды. Магнитное взаимодействие электронов влияет на межатомные расстояния в материале, анизотропно изменяя его плотность. При этом в силу

принципа запрета Паули, обменные силы выстраивают параллельно ориентированные моменты электронов в НЛН (для кристаллов с объемно-центрированной кубической решеткой (ОЦК) – $[100]$, для кристаллов с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК) – $[111]$, с гексагональной (ГПУ) – $[0001]$).

Таким образом, установление определенной кристаллографической ориентации обусловлено, главным образом, получением возможности управлять условиями намагничивания и механической деформацией. Это требует определенности вектора N в котором результирующая намагниченность доменов оказывается однонаправленной, а также упорядочения НЛН, при котором магнитная проницаемость среды повышается. Исключение этому составляет деформация сжатием материалов с положительной магнитострикцией (МПМ) и растяжением материалов с отрицательной магнитострикцией (МОМ), вектор результирующей намагниченности в которых ориентирован перпендикулярно N , а направление преобладающей деформации доменов с ней совпадает (рисунок 2).

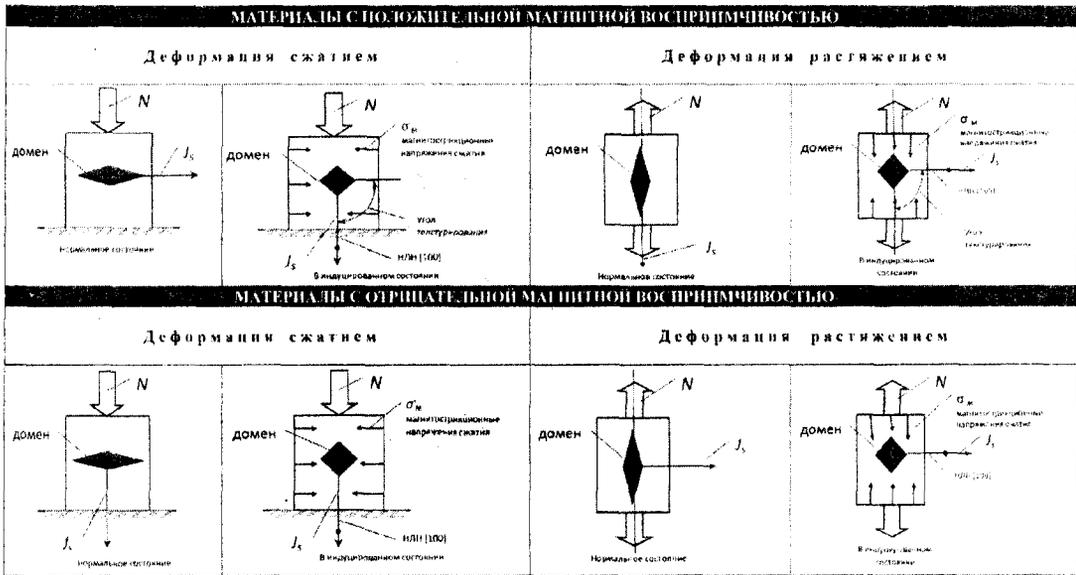


Рисунок 2 – Схемы управления магнитострикционными напряжениями при формировании регламентированной деформации деталей соединения

Для МОМ направление упругого сжатия является направлением легчайшего намагничивания; а для МПМ – направление легчайшего намагничивания совпадает с направлением упругого растяжения. При этом растяжение МОМ и сжатие МПМ затрудняет намагничивание. Это означает, что вектор намагниченности доменов J_s в МОМ при растяжении стремится стать перпендикулярно N и, при этом, каждый домен приобретает дополнительное удлинение перпендикулярно J_s и оказывается сжат в поперечном направлении. Аналогичная картина получается при деформации сжатием МПМ. Однако, в обоих случаях сжимающая компонента поля магнитострикционных напряжений способствует повышению модуля упругости материала.

При упорядоченности векторов J_s при текстурировании и управлении тем самым их положением относительно N , при одновременном повышении энергии намагничивания внешним магнитным полем, представляется возможным добиться снижения удлинения доменов при деформации растяжением и их сужения при деформации сжатием. Это сопровождается возрастанием компоненты сжатия поля магнитострикционных напряжений в направлении, параллельном N при деформации растяжением и нормально N – при деформации сжатием.

Анализ схем, приведенных на рисунке 2, позволяет отметить, что в случае применения в качестве покрытий МОМ, необходимость текстурирования обусловлена главным образом обеспечением механических форм анизотропии; при использовании МПМ текстурирование также способствует формированию заданной величины натяга в соединении.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИИ В СОЕДИНЕНИИ НА УСЛОВИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕТАЛЕЙ

Анализ величины магнитострикции в образцах из стали 45 с гальваническим покрытием комплексом *Ni-Fe* в магнитном поле и различными кристаллографическими ориентировками позволяет констатировать, что ее величины в поле напряженностью 65-70 кА/м оказываются соизмеримыми с величинами высотных параметров шероховатости. При этом наибольшая величина магнитострикции зафиксирована при текстурировании в направлении <100>.

Следует отметить, что величина магнитострикции повышается с увеличением толщины покрытия и, наоборот, снижается с ее уменьшением, ввиду очевидного проявления эпиктаксии (рисунок 3).

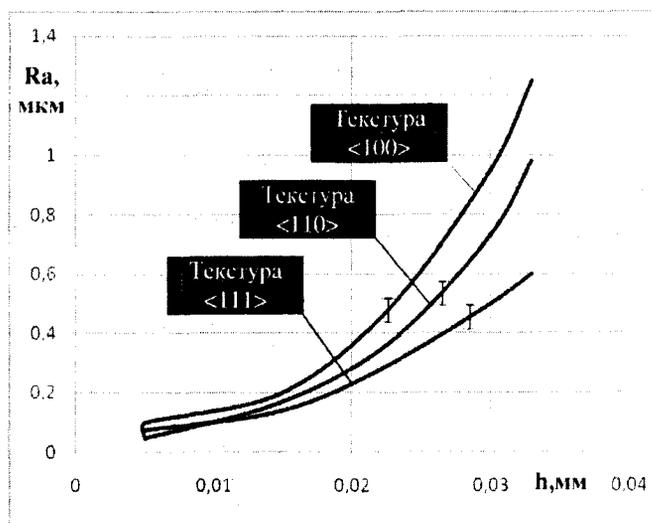


Рисунок 3 – Зависимость величины шероховатости втулки от толщины покрытия вали в неподвижном соединении

При допущении того, что поверхность цилиндрического образца с покрытием является гладкой, а поверхность втулки (без покрытия) - шероховатой, установлено снижение работы магнитострикции, расходуемой на пластические деформации с увеличением контурного давления (рисунок 4).

Нелинейный характер этой зависимости, по-видимому, связан с изменениями намагниченности материала покрытия и ростом аддитивной компоненты механических напряжений от предварительного натяга.

Для оценки податливости деталей сопряжения с разным типом текстур покрытия с учетом магнитострикционного эффекта применялся метод микроиндентирования поверхности. Использование при этом различных форм инденторов (конус, пирамида, сфера) позволило имитировать условия нагружения отдельных шероховатостей поверхностей, а вариация нагрузки, прикладываемой на индентор – удельную нагрузку с учетом реакции сопротивления со стороны магнитострикционной компоненты напряжений на контакте:

$$J_k = h_{(>0,2\text{ мкм})} \pm \lambda_s(hkl) / N,$$

где J_k – контактная податливость;

$h(>0,2 \text{ мкм})$ – глубина внедрения индентора в материал при фиксированной нагрузке;
 $\lambda_s(hkl)$ – магнитострикция насыщения в направлении приложения нагрузки N со стороны индентора.

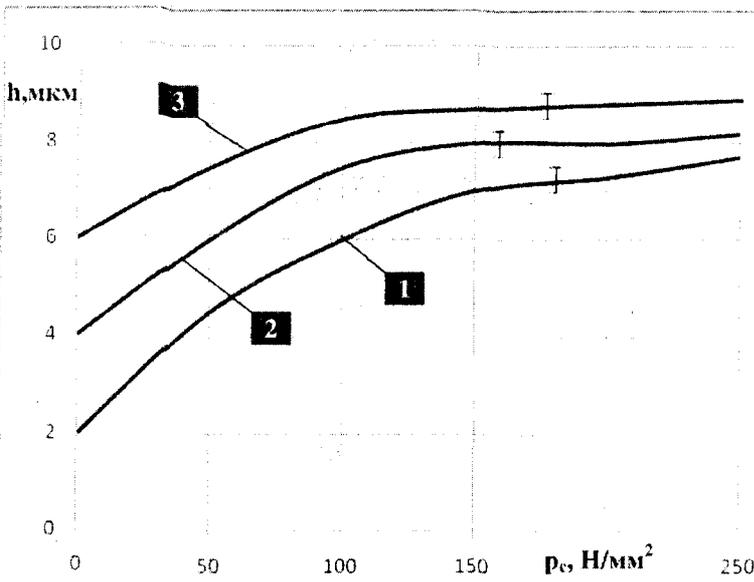


Рисунок 4 – Зависимость сближения h от контурного давления p_c .

- 1 - контакт шероховатых поверхностей «вал-штулка». Магнитное поле отсутствует.
- 2 - контакт вала с покрытием с шероховатой втулкой в магнитном поле напряженностью 65 кА/м.
- 3 - контакт текстурированного в направлении $\langle 100 \rangle$ покрытия вала с шероховатой втулкой в магнитном поле 65 кА/м

При этом контактная жесткость определялась по наклону касательной к разгрузочной части кривой индентирования в максимальной точке.

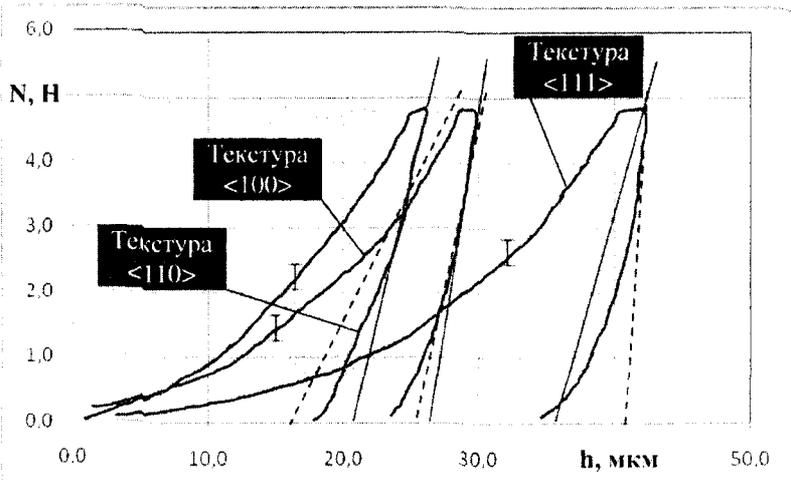


Рисунок 5 – Кривые индентирования текстурированных покрытий поверхности образцов (сталь 45, покрытие Ni-Fe, толщина 30 мкм)

При этом принималось во внимание, что образцы с покрытием работают на сжатие, а нагрузка со стороны индентора N , ориентирована перпендикулярно покрытию. Индентирование образцов размером 10x5x3 мм проводили в диапазоне нагрузок 0,5– 5,0 Н (по резуль-

татам 5 замеров на точку). При последовательных поворотах индентора по отношению диагоналей отпечатков оценивалась анизотропия механических свойств.

Направление намагничивания устанавливалось параллельно вектору деформирующей нагрузки. Согласно принятой схеме намагничивания (рисунок 2), магнитострикция возрастает преимущественно в направлении, перпендикулярном N .

Следует заметить, что в принятом диапазоне величин нагружения при комнатной температуре в условиях наведенной внешним полем магнитострикции удается практически полностью подавить влияние анизотропии механических свойств: контактная жесткость покрытий с текстурой $\langle 100 \rangle$ оказывается выше, чем у образцов с текстурой покрытия $\langle 111 \rangle$ (рисунок 5).

При этом приращение контактной жесткости в образцах в существенной степени связано со знаком магнитострикции: при текстурировании в различных кристаллографических направлениях наблюдается вариация величины J_k (пунктирные линии на рисунке 5).

ВЫВОДЫ

1. Управление контактными характеристиками неподвижных соединений в машинах и оборудовании с позиций обеспечения их работоспособности представляется возможным при формировании благоприятного (регламентированного) энергетического состояния конструкционных материалов, выраженного в достижении ими регламентированного уровня контактной жесткости и износостойкости.

2. Контактная жесткость в деталях соединений в значительной степени определяется напряженным состоянием, формируемым эффектом магнитострикции конструкционных материалов или их покрытий при намагничивании внешним магнитным полем, усиленная технологическим текстурированием.

3. Повышение контактной жесткости соединения способствует снижению интенсивности образования очагов разрушения структуры поверхностных слоев материалов соединения, а пластическая деформация покрытия при магнитострикции создает условия для герметизации стыка. При этом в случае регламентированного кристаллографического упорядочения за счет анизотропии механических свойств создаются предпосылки для минимизации податливости соединения в направлении тангенциальной составляющей поля напряжений.

Анализируя механизм потери работоспособности неподвижных соединений, следует отметить, что при взаимодействии с мономолекулярными поверхностными слоями и пленками, отличающимися реакционной активностью, внешняя среда способна привести к образованию новых структурных соединений, оказывающихся устойчивыми к механическому нагружению, или же, наоборот, обладающих подвижностью. При этом молекулы внешней (герметизируемой) среды, попавшие на поверхность стыка по различным механизмам (вследствие межфазной диффузии, дислокационного перемещения, адсорбции и др.) находятся в особом, конверсионном состоянии.

Отмеченное позволяет видеть определенные перспективы развития исследований в направлении обеспечения герметичности соединений на основании молекулярного разделения фаз герметизируемой среды за счет взаимодействия ее структурных компонентов, например с сорбентом, во внешне индуцированном магнитном поле, при их последующей избирательной эвакуации за пределы стыка.

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. Буканова, И.С. Технологическое обеспечение повышенной несущей способности неподвижных соединений типа «корпус-втулка» [Текст] / И.С. Буканова, Е.Ю. Татаркин, И.И. Ятло // Ползуновский вестник. - 2009. - № 1-2. - С.12-16.

2.Иванов, А.С. Контактная жесткость неподвижных соединений деталей машин [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : М., - 2006. - 245 с.З. Перфильева, Н.В. Динамическая модель механического контактирования условно-неподвижных соединений [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук: Барнаул. - 2003. - 272 с.

3.Патент РФ № 2240360 / С21D. Способ формирования покрытий на поверхностях металлических материалов [Текст] / Е.А.Памфилов, П.Г.Пыриков // Открытия. Изобретения. - 2004. - № 32. - С. 22-27.

4.Терешина, И.С. Магнитострикция и намагниченность интерметаллических соединений $RFe_{2-x}Co_x$ ($R = Tb, Dy, Er$) со скомпенсированной магнитной анизотропией [Текст] / И.С. Терешина [и др.] // Физика твердого тела. - 2009. - т. 51, вып. 1. - С. 26-30.

Пыриков Павел Геннадьевич
Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование лесного комплекса»
E-mail: pyrikovpg@mail.ru

Рухлядко Александр Сергеевич
Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
аспирант, инженер кафедры «Радиационная экология и безопасность жизнедеятельности»
E-mail: ruhlyadkoas@mail.ru

Горленко Александр Олегович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт»
E-mail: msi@tu-bryansk.ru

P.G. PYRIKOV, A.S. RUHLYADKO, A.O. GORLENKO

TECHNOLOGY-BASED METHODS FOR ELECTROMAGNETIC EXPOSURE TO IMPROVE STILL TIGHT CONNECTION

In the article the technological ways of increasing the fitness for work of fixed connections in the machines and the equipment on the basis of control of contact characteristics are examined. Are analyzed the possibilities to change contact pressure and, thus, value of the pliability of components on the basis of magnetostriction with the induction of connection by external magnetic field. Are given the results of studies of rapprochement h from the contour pressure p_0 , and also the curves of indenting the textured magnetostrictive coatings of components.

Keywords: fixed connections, contact characteristics, magnetostriction, reliability, airtightness.

BIBLIOGRAPHY

[1]Bukanova, I.S. Technological support increased fixed carrying capacity of the compounds of the "body-sleeve" [Text] / I.S. Bukanova, E.J. Tatarin, I.I. Yatlo // Polzunovsky Gazette. - 2009. - № 1-2. - P.12-16.

[2]Ivanov, A.S. Contact stiffness of fixed joints of machine [Text] : Dissertation for the... Dr. Technical. of Sciences: Moscow. - 2006. - 245 p.

[3]Perfilieva, N.V. A dynamic model of the mechanical contact of quasi-fixed joints [Text] : Dissertation for the Drs. Technical. Science: Barnaul. - 2003. - 272 c.

[4]RF Patent № 2240360 / S21D. Method of forming coatings on the surfaces of metallic materials / E.A.Pamfilov, P.G.Pyrikov // Discovery. Inventions. - 2004. - № 32. - S. 22-27.

[5]Tereshina, I.S. Magnetostriction and magnetization of the intermetallic compounds $RFe_{2-x}Co_x$ ($R = Tb, Dy, Er$) with compensated magnetic anisotropy [Text] / I.S. Tereshina [and others] // Solid State Physics. - 2009. - m. 51, no. A. - P. 26-30.

Pyrikov Pavel
DS, Prof. the Bryansk State of Engineering-Technological Academy. Is busy with the problems of construction the theoretical and technological bases of the working ability performance of the wood complex machines.
E-mail: pyrikovpg@mail.ru

Ruhlyadko Alexander
The postgraduate student of Bryansk State of Engineering-Technological Academy. The engineer of the department of Radiation Ecology and principles of personal and social safety.
E-mail: ruhlyadkoas@mail.ru

Gorlenko Alexander
FGBOU VPO "Bryansk State Technical University", Bryansk, Ph.D., professor of "Road Transport"
E-mail: msi@tu-bryansk.ru

А.А. СИМАКОВ, Ю.В. ВАСИЛЕНКО

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИИ РАЗВЕРТКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Проведен анализ геометрии рабочей поверхности шлифовальных кругов нестандартного профиля на примере кругов с аксиально смещенным режущим слоем. На основе аналитических зависимостей построена развертка рабочей поверхности инструмента на плоскость и представлен анализ геометрии развертки.

Ключевые слова: шлифование, инструмент, рабочая поверхность

В настоящее время актуальным направлением развития металлообработки является совершенствование существующего и разработка нового шлифовального инструмента, в частности использование нестандартных форм рабочей поверхности шлифовальных кругов. Анализ кинематики и динамики работы шлифовальных кругов нестандартных форм требует рассмотрения числа абразивных зерен в нем, характера их распределения по рабочей поверхности и характера движения, что в свою очередь, определяет производительность и динамику процесса шлифования.

Число режущих зерен зависит от концентрации их в структуре круга и геометрии рабочей поверхности инструмента. Геометрию рабочей поверхности любого шлифовального круга целесообразно определять, рассматривая развертку ее на плоскость. Определение параметров развертки для круга сложной формы целесообразно осуществлять через уравнение движения точки контакта A при качении инструмента по обрабатываемой плоскости XOY .

Рассмотрим методику анализа геометрии развертки на примере шлифовального круга с аксиально смещенным режущим слоем (АСРС). Такая форма инструмента получается путем наклона оси стандартного круга прямого профиля на угол α (рисунок 1) [1].

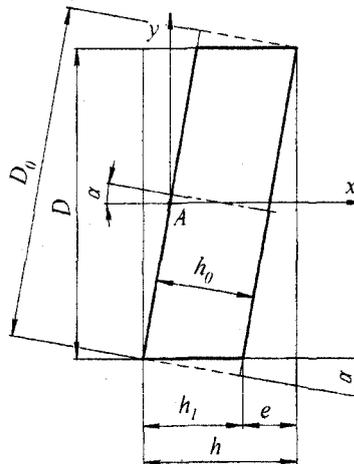


Рисунок 1 – Профиль круга с АСРС

Для шлифовального круга, наклоненного относительно оси вращения на угол α , ширина рабочей поверхности увеличивается, а диаметр уменьшается (рисунок 1), что следует из зависимостей:

$$h_1 = \frac{h_0}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

$$D = (D_0 - h_0 \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha \quad (2)$$

где h_0 – ширина исходного круга;
 h_1 – ширина рабочей поверхности круга после наклона;
 α – угол наклона круга;
 D_0 – диаметр исходного круга;
 D – рабочий диаметр круга после наклона и правки.
 Суммарная ширина круга после наклона составляет:

$$h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{h_0}{\cos \alpha}$$

Фактическое увеличение рабочей ширины круга e представляет собой разность между h и h_1 :

$$e = h - h_1 = D \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

В процессе работы совместно с вращением круга происходит непрерывное возвратно-поступательное (колебательное) движение участка h_1 рабочей поверхности в осевом направлении.

Характер колебательного движения определяем, рассматривая движение точки A контакта периферии круга с заготовкой, применяя метод обращения движения (рисунок 2). Принимаем начальное положение точки A – на обрабатываемой плоскости C . При повороте круга на некоторый угол φ контакт с плоскостью C происходит в точке A' , отстающей от A на угол φ . Тогда координата y точки контакта изменяется согласно уравнению:

$$y(\varphi) = \frac{D}{2} \sin \varphi$$

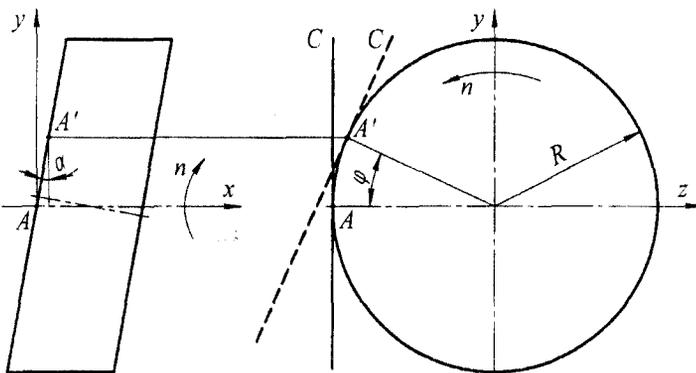


Рисунок 2 – Кинематика движения точки контакта A

Координаты x и y точки A связаны соотношением:

$$\frac{x}{y} = \operatorname{tg} \alpha$$

Тогда уравнение координаты x точки контакта:

$$x(\varphi) = R \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

Развертка периферии круга на плоскости C строится в координатах x' и y' . Ось X' совпадает с осью X круга, поэтому $x(\varphi) = x'(\varphi) = R \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Ось Y' представляет собой развертку окружности радиусом R , поэтому:

$$y'(\varphi) = R \cdot \varphi \quad (5)$$

Система параметрических уравнений (4) и (5) представляет собой зависимость для определения формы образующей развертки рабочей поверхности шлифовального круга с АСРС.

Для удобства расчетов заменив радиус круга R на его диаметр D , а также учитывая зависимость (6) между углом поворота круга φ и временем τ , преобразуем (4) и (5) к параметрическим уравнениям от времени:

$$\frac{\varphi}{2\pi} = \frac{\tau \cdot n}{60};$$

$$\varphi = \frac{\pi \cdot n \cdot \tau}{30} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} x'(\tau) &= \frac{D}{2} \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n \cdot \tau}{30}\right) \\ y'(\tau) &= \frac{\pi \cdot n \cdot D \cdot \tau}{60} \end{aligned} \right\} (7)$$

где n – частота вращения круга, об/мин;

Перейдем от параметрической (7) к прямой зависимости и окончательно получим уравнение образующей линии развертки:

$$x'(y') = \frac{D}{2} \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\left(\frac{2y'}{D}\right) \quad (8)$$

Из анализа уравнения видно, что образующая представляет собой синусоиду с амплитудой $e/2 = D \cdot \operatorname{tg}\alpha / 2$ мм и частотой, равной частоте вращения круга $n/60$ Гц.

Так как круг имеет ширину рабочей поверхности, равную h_1 , то ширина развертки также будет равна h_1 . Уравнение точки, лежащей на противоположном торце круга:

$$x''(y') = \frac{D}{2} \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\left(\frac{2y'}{D}\right) + h_1 \quad (9)$$

Ограниченная построенными по выражениям (8) и (9) синусоидами область представляет собой развертку рабочей поверхности круга с АСРС (рисунок 3).

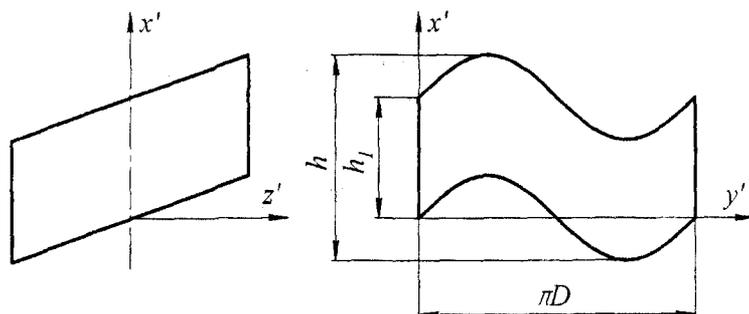


Рисунок 3 – Развертка рабочей поверхности круга с АСРС

Площадь ее определяется как произведение ширины h_1 на длину πD . Таким образом, площадь рабочей поверхности шлифовального круга с АСРС приблизительно ((1), (2)) равна площади стандартного круга прямого профиля аналогичной ширины и диаметра. Соответственно, общее число режущих зерен в таких кругах также близко. Однако, если для круга прямого профиля длина дуги l_d в каждой точке его ширины неизменна и равна πD , то для круга с АСРС величина l_d непрерывно изменяется вдоль оси x . Характер изменения можно определить из анализа взаимного расположения кривых $x'(y')$ и $x''(y')$.

Обобщенно, сопоставляя различные варианты расположения двух синусоид, можно выделить три типа сочетания: I и II – с наложением волн друг на друга (рисунок 4, а, б) и III – без наложения (рисунок 4, в). Условие, определяющее характер данного сочетания для конкретного круга, следующее: при $h_1 < e/2$ наблюдается максимальное наложение областей, ограниченных синусоидами (рисунок 4, а), при $e/2 \leq h_1 < e$ – частичное наложение областей (рисунок 4, б), при $h_1 \geq e$ – наложение отсутствует (рисунок 4, в).

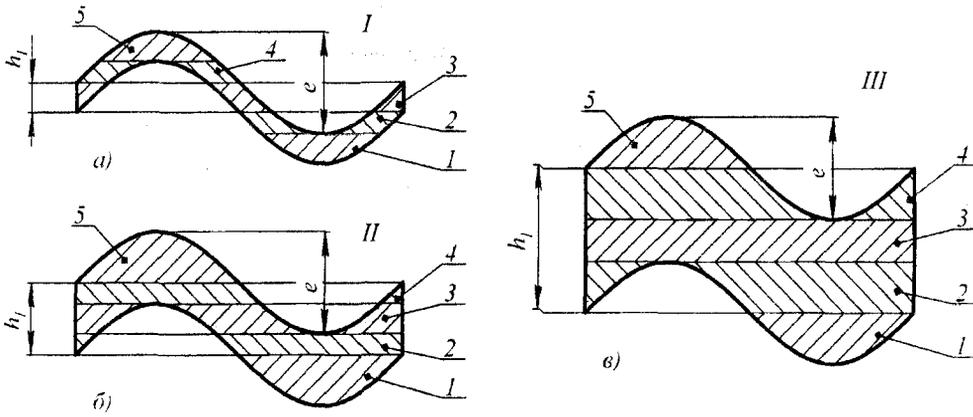


Рисунок 4 – Типы сочетания двух синусоид

Для каждой схемы сочетаний можно выделить 5 интервалов (1...5 на рисунке 4) на ширине круга h , в каждом из которых величина l_d изменяется по определенному закону. Эти интервалы определяются положением прямых, проходящих через характерные точки кривых: осевой линии и границ (амплитуд) синусоиды.

Рассмотрим случай, когда $h_1 < e$ (рисунок 5). В системе координат YOX начало синусоиды 1, заданной выражением (8), совпадает с началом координат, ось синусоиды – с осью y ; синусоида 2, заданная (9), отстоит от первой на величину рабочей ширины круга h_1 . Интервалы определяются условиями:

- 1) $-e/2 - h_1 \leq x_1 \leq -e/2$;
- 2) $-e/2 \leq x_2 \leq -h_1$;
- 3) $-h_1 \leq x_3 \leq 0$;
- 4) $0 \leq x_4 \leq e/2 - h_1$;
- 5) $e/2 - h_1 \leq x_5 \leq e/2$.

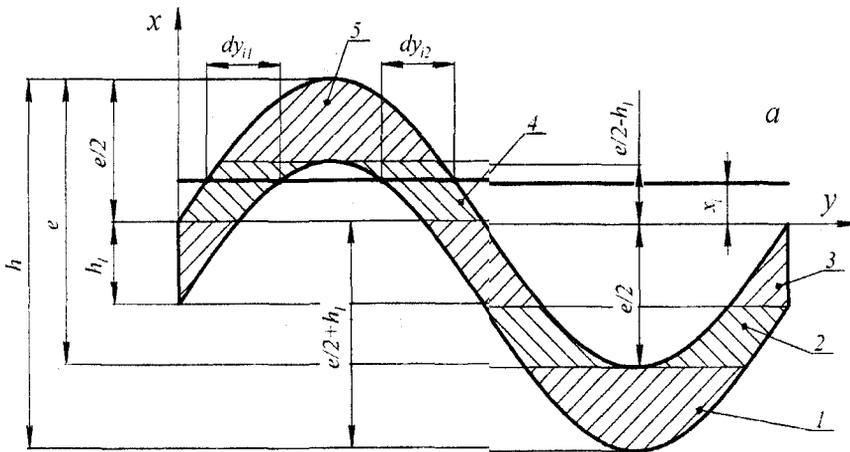


Рисунок 5 – Схема к определению зависимости $l_d(x)$

Для каждого из полученных интервалов закон изменения l_d определяется следующим образом: для некоторой прямой a , параллельной оси y и отстоящей от нее на величину x_1 , находятся точки пересечения с синусоидами (аналитически или численным методом). Определяя и суммируя для каждой из полученных точек разность абсцисс dy_{ij} , находим искомую величину l_d для данной x_1 .

Таким образом, на данном интервале получаем функциональную зависимость l_d от x_i . Объединяя пять зависимостей для пяти интервалов x_i , получаем дискретную функцию $l_d(x_i)$ для данной схемы сочетаний синусоид, а производя аналогичные разбиения на интервалы и расчеты для оставшихся схем II и III – общую функцию распределения длины дуг периферии шлифовального круга с АСРС по его ширине.

Рассчитанные по данной функции диаграммы распределений для каждой из схем сочетания синусоид представлены на рисунок 6.

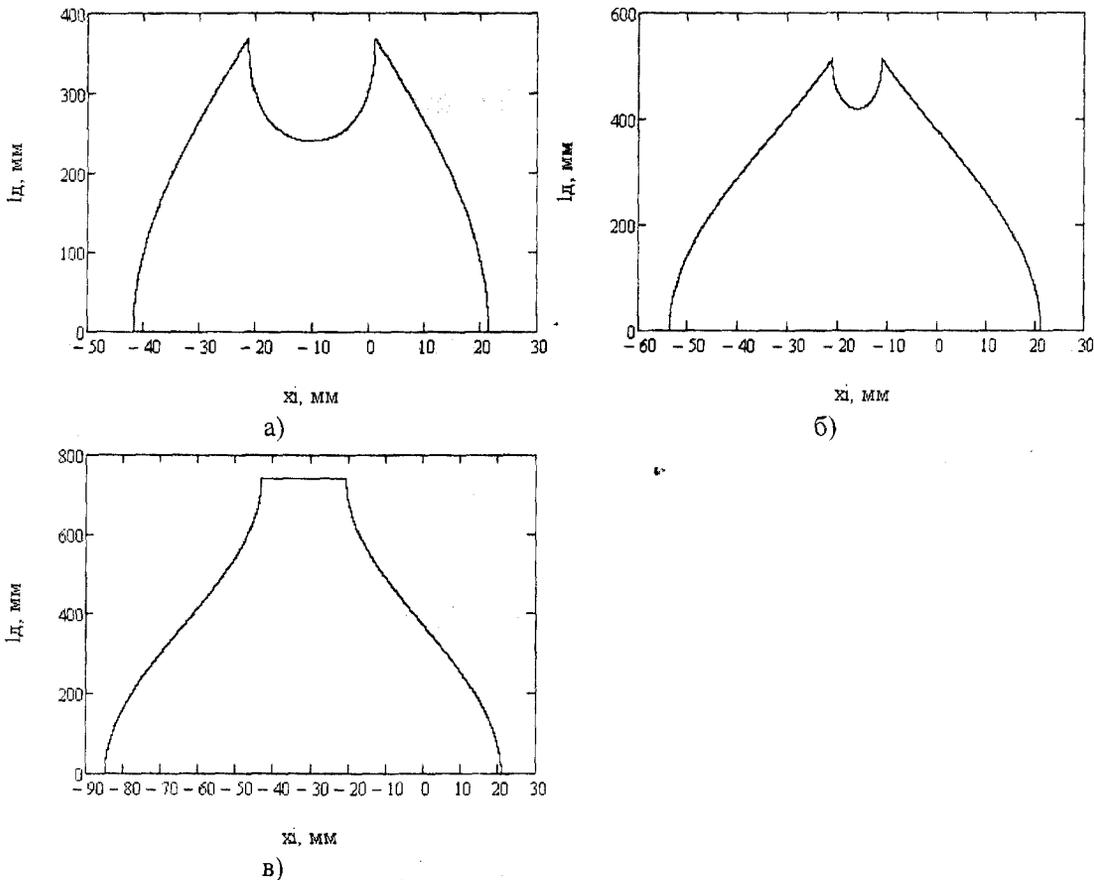


Рисунок 6 – Диаграммы распределения l_d по ширине шлифовальных кругов:

а) $D_0 = 250$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $h_0 = 20$ мм ($h_1 = 20,3$ мм, $e = 42,8$ мм); б) $D_0 = 250$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $h_0 = 32$ мм ($h_1 = 32,5$ мм, $e = 42,4$ мм); в) $D_0 = 250$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $h_0 = 63$ мм ($h_1 = 64$ мм, $e = 41,5$ мм)

Из анализа диаграмм видно, что шлифовальные круги, для которых выполняется условие $h_1 > e$, имеют участок ширины, на котором $l_d = \pi D$, то есть обработка ведется всей периферией круга (рисунок б, в). По обеим сторонам этого участка располагаются участки с уменьшающейся длиной дуги l_d , на которых, соответственно, обработка производится частью окружности. С точки зрения повышения производительности данная схема наиболее предпочтительна, так как при этом на обрабатываемой поверхности образуется зона максимального съема металла, для которой не требуется дополнительного прохода. Исходя из величины данной зоны, в частности, назначается величина поперечной подачи.

Условие получения этой схемы можно получить из (2) и (3):

$$\frac{h_0}{\cos \alpha} (1 + \sin^2 \alpha) - D_0 \sin \alpha > 0 \quad (10)$$

Для выполнения (10) необходимо увеличивать ширину исходного круга h_0 , а его диаметр D_0 и угол наклона α уменьшать.

Приведенная методика позволяет для шлифовального круга любой формы и расположения определить количество и распределение рабочих зерен на всей рабочей поверхности инструмента. Исходя из этих данных, осуществляются дальнейшие расчеты производительности обработки, теплонапряженности процесса, износа инструмента.

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. Степанов, Ю.С. Абразивный инструмент для формирования знакопеременных деформаций в поверхностном слое при шлифовании [Текст] / Ю.С. Степанов // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения - Technology – 2000: Тр. междунар. науч.-техн. конф. - 2000. - С. 232-235.

Симаков Александр Александрович

Аспирант
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: +7-953-811-6536
E-mail: mactepnew@gmail.com

Василенко Юрий Валерьевич

Кандидат технических наук, доцент, декан ТИКИ
ТИ ФГБОУ ВПО «Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: (4862) 54-14-51
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

A.A. SIMAKOV, YU.V. VASILENKO

A METHOD OF EVOLVENT GEOMETRY ANALYSIS FOR GRINDING WHEELS WITH VARIOUS PROFILES

An analysis of geometry working surface of grinding wheels with custom profile on the the example of wheels with axially shifted cutting layer. Based on the analytical dependences built evolvent of tool working surface on a plane and presented a evolvent geometry analysis.

Key words: grinding, tool, working surface

BIBLIOGRAPHY

[1] Stepanov, Yu.S Abrasive tool for formation of alternating deformation in the surface layer during grinding [Text] / Yu.S. Stepanov // Fundamental and applied technological problems of machine building – Technology-2000: Transact. collect. of Intern. Scientific-technical Conf. in Oryol. - 2000. - P. 232-235.

Симаков Александр Александрович

Graduate student
Polikarpov Technological Institute
FSEI HVT «State University – ESPC», Orel
Phone: +7-953-811-6536
E-mail: mactepnew@gmail.com

Vasilenko Yuriy Valerievich

Associate Prof., dean of the department
«Mechanical engineering and design-
engineering informatics»
Polikarpov Technological Institute FSEI HVT
«State University – ESPC», Orel
Tel: (4862) 54-14-51
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

УДК 621.9.047

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, И.Т. КОПТЕВ, К.М. ГАЗИЗУЛЛИН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье приведен анализ достижений отечественных научных коллективов по перспективам технологического использования электроэрозионной и электрохимической размер-

ной обработки. Представлены списки литературных источников с подробным описанием новых технологических процессов.

Ключевые слова: электроэрозия, электрохимия, технологические процессы, проектирование процессов

ВВЕДЕНИЕ

Создание современной техники невозможно без широкого использования нетрадиционных методов обработки. К ним относятся электроэрозионная и электрохимическая размерная обработка. Анализ достижений в этой области за последние годы дает основания оценить технологические возможности нетрадиционных методов, прогнозировать перспективы их применения особенно при освоении наукоемких изделий авиационной и космической техники.

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

Наиболее крупные научные обобщения в последние годы сделаны в области электроэрозионного формообразования непрофилированным инструментом при использовании в качестве инструмента стержня или проволоки. Исследования, приведенные в [1], [2], показывают, что для устранения основного недостатка электроискрового процесса - ограниченной производительности - предложено использовать для усиления импульсов интенсивного теплового воздействия типа кумулятивного эффекта, что на порядок и более ускоряет скорость съема припуска. В [3] это достигнуто применением инструмента с однослойным или многослойным покрытием электрода-инструмента металлом, обладающим кумулятивным эффектом, например, цинком. Одновременно решена проблема повышения качества поверхностного слоя при интенсивном удалении припуска. На рисунке 1 показан электрод в форме латунной проволоки (1) с цинковым покрытием (2).

Современные средства автоматизации электроэрозионных станков позволяют изменять положение проволоки так что она всегда направлена покрытием 2 в сторону зоны обработки детали. Каплевидная форма электрода (рисунок 1) позволяет полнее использовать покрытие 2, которое по мере износа будет снижать размер электрода от H_1 до H_2 , а после калибровки прорезанного паза участком ($d_{np} - L$) электрода без покрытия удается снизить неровности на стенках паза после интенсивного эрозионного процесса при участии покрытия. Предложенное техническое решение позволило до 10 раз ускорить скорость прошивки отверстий малого диаметра или получения узких пазов, обеспечив при этом шероховатость $Ra=0,63-0,32$ мкм (по стали) и погрешность около 10-20 мкм. Продолжение исследований по изысканию новых видов электродов и рабочих сред может привести к созданию комбинированного электроэрозионнохимического процесса с технологическими показателями существенно превышающими достигнутый уровень. С учетом высокой степени универсальности электроискрового метода можно рассчитывать на значительное расширение области использования такого процесса, особенно в наукоемких отраслях машиностроения.

Вторым перспективным направлением развития электроискровой обработки следует считать холодное восстановление геометрии изношенных деталей. Получены принципиально новые научные результаты по многослойному нанесению толстослойных покрытий из чугуна или стали с высоким качеством поверхностного слоя [3] и получение покрытий из высокотемпературных сплавов (например, чугуна) на легкоплавных алюминиевых материалах [4]. Проблема решена за счет управления свойствами поверхностного слоя покрытий, изменения толщины каждого слоя, путем введения в зону покрытия химически активных сред. На базе полученных в [3], [4] результатов намечены исследования по нанесению качественных толстых покрытий с использованием титановых сплавов, что позволит придавать изделиям из недефицитных легкообрабатываемых материалов уникальные эксплуатационные свойства, обеспечиваемые покрытиями.

В [5] раскрыт механизм процесса электроконтактной обработки в жидком стекле, что позволило перейти на использование вместо стекла суспензии каолина без ухудшения технологических показателей электроконтактного метода. В настоящее время жидкое стекло

стало дефицитным продуктом, так как оно, в основном, производится в Азербайджане и поставляется в другие страны. Кроме того такая рабочая среда токсична и неудобна в эксплуатации. Дальнейшие исследования позволят уточнить характеристики суспензии каолина и начать планомерную замену этой средой жидкого стекла.

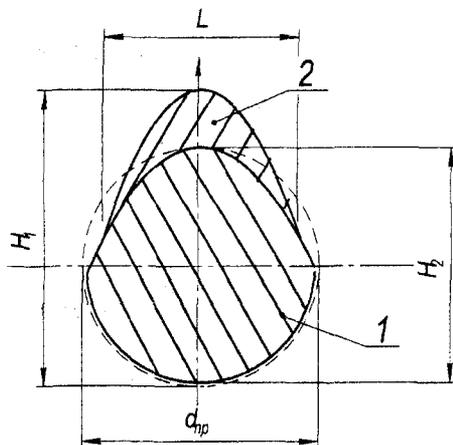


Рисунок 1 – Электрод-проволока (1) с цинковым покрытием (2)
H1 – размер сечения электрода-проволоки с покрытием в направлении ее подачи (показано стрелкой); H2 – размер проволоки без учета покрытия в направлении подачи;
d_{ис} – диаметр исходной проволоки; L – ширина покрытия на проволоке

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

В области электрохимической размерной и комбинированной обработки проведены комплексные исследования по расширению области применения этих методов при обработке внутренних поверхностей [6] и крупногабаритных лопаток ГТД [7]. Положительные результаты достигнуты за счет совершенствования конструкции оборудования, инструмента и применения управляемого пульсирующего течения рабочей среды. В связи с общим спадом производства и замедлением темпов освоения новых авиационных изделий интерес к полученным в [6], [7] результатам несколько снизился, хотя целесообразно продолжить исследования в направлении изыскания новых рабочих сред (безводородные электролиты, органические жидкости) и в области управления процессом импульсно-циклической обработки [8] по технологическим схемам, предложенным учеными Тулы, Уфы, Санкт Петербурга, Воронежа.

В [7] предложен новый способ обработки, при котором следящей системой станка улавливается скорость торможения потока и отключается рабочий ток, но давление электролита в зазоре сохраняется. Поскольку поток жидкости в конце цикла не успел полностью затормозиться, то рабочая среда продолжает перемещаться вдоль зазора и выносит коллоидные и газообразные продукты обработки из межэлектродного пространства.

На рисунке 2 показано влияние импульсно-циклического режима подачи электролита на точность обработки каналов длиной до 350 мм.

На рисунке 2 приведены показатели для каналов с длиной до 350 мм. В случае постоянного течения электролита даже при межэлектродном зазоре 0,6мм (рекомендованный диапазон этого параметра составляет не более 0,4-0,5мм) далее наступает «запирание» потока в зазоре газовым пузырем и коллоидными гидроокислами. Погрешность, оцениваемая как разность среднего съема припуска (относительно начального участка) по длине канала, резко возрастает и при предельной длине достигает более 1 мм.

Применение пульсирующего потока (рисунок 2, кривая 2) дает возможность получить погрешность не более 0,15-0,25 мм, что отвечает техническим условиям на детали с точностью 8÷9 квалитета. Особенно следует подчеркнуть, что увеличение длины канала при пуль-

сирующем движении электролита практически не сказывается на точности детали (погрешность не превышает 0,25 мм). Результаты, приведенные на рисунке 2, позволили уточнить рекомендации по выбору нижнего предела скорости подачи электролита для длинномерных каналов. Он составляет от 3 до 8 м/с (в зависимости от межэлектродного зазора), хотя ранее рекомендовались скорости до 60 м/с, что требовало энергоемких гидравлических агрегатов с давлением на входе более 2 МПа.

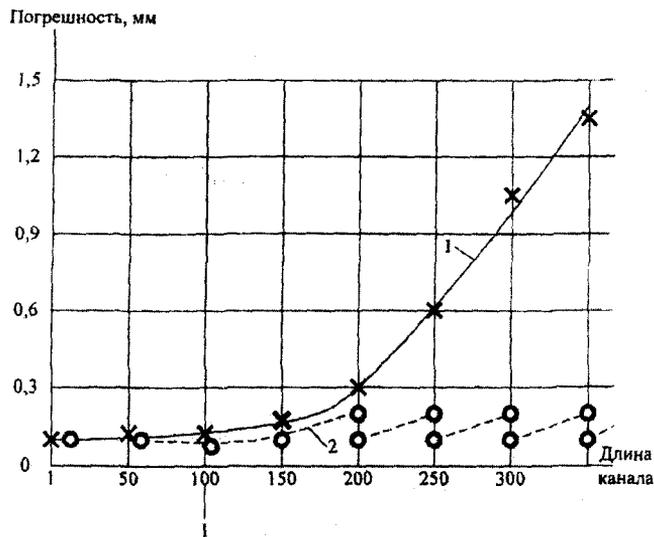


Рисунок 2 - Погрешность длинномерного канала после обработки при постоянном (кривая 1) и пульсирующем (кривая 2) течении электролита.

Длина обрабатываемого одним импульсом участка канала зависит от межэлектродного зазора (рисунок 3).

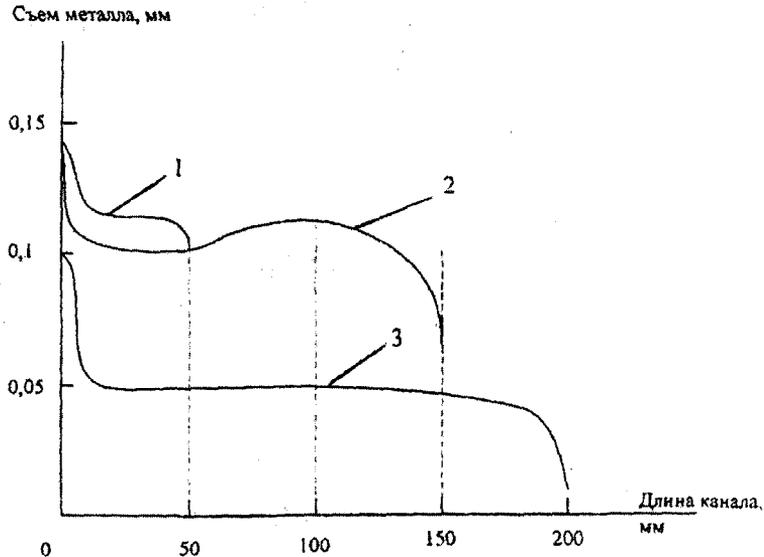


Рисунок 3 - Съем материала с жаропрочного сплава за один импульс при зазорах: 1 - 0,2 мм; 2 - 0,3 мм; 3 - 0,4 мм.

Как видно из рисунка 1, предельная длина обработанного участка за один импульс при пульсирующем движении электролита составляет от 48-50 мм (при зазоре 0,2 мм), где имеет место наибольший съем материала (около 0,12 мм), до 180-200 мм (зазор 0,4 мм). Но в последнем случае производительность снижается в 2-2,5 раза.

В [7] обосновывается область рационального использования пульсирующего потока (таблица 1).

Таблица 1

Типовые операции	Схемы обработки	Характеристика потока	Способ регулирования потока	
			По давлению на входе, выходе	По циклу съема припуска
1	2	3	4	5
ЭХО				
1. Прошивка отверстий	Подача электрода-инструмента (постоянная, регулируемая)	Локальная неуправляемая пульсация без перекрытия потока	$P_{вх} = \text{const}$ $P_{вых} = 0-0,01$ МПа	Не используется
2. Обработка пера лопаток больших габаритов - прошивка в цельном материале	Саморегулирование, циклическая подача	Неуправляемая пульсация с переменной скоростью	Расчет средней скорости и $P_{вх}$, $P_{вых}$	Не используется
-чистовая обработка профиля	Циклическая, с переменным регулируемым межэлектродным зазором	Для больших лопаток пульсирующий поток с возможностью перекрытия течения	Расчет $V_{ср}$ $P_{вх} = \text{const}$	По единому закону управления циклами подачи тока и рабочей среды
3. Изготовление полостей ковочных штампов, прессформ с большой площадью	Циклическая подача	Пульсирующий поток с возможностью перекрытия течения	Расчет $P_{вх} = \text{const}$	По скорости парогазовой составляющей и составляющим цикла через импульсную подачу тока
4. Обработка каналов различного сечения большой длины - без подачи инструмента	Неподвижные электроды	Пульсирующий поток с перекрытием течения	Расчетный профиль по длине канала. $P_{вх} = \text{const}$	По скорости фаз и параметрам цикла подачи тока
-зонная обработка	С продольной подачей	Слабо пульсирующий поток	Расчет средней скорости потока, давления на входе ($P_{вх} = \text{const}$)	Не используется
5. Точение круглых заготовок (диски, турбины и др.)	Подача инструмента по винтовой линии	Пульсирующий (в зависимости от положения) инструмента	Полив рабочей жидкости	Дозированная подача рабочей среды с постоянным циклом

Продолжение таблицы 1

Комбинированная обработка				
1. С гарантированным наклепом каналов	Продольная подача зонного электрода инструмента по закону постоянства продольной силы перемещения инструмента	Пульсирующий с периодом пульсаций в зависимости от припуска на обработку	Расчет V_{cp} , $P_{вх}$, средней скорости подачи электрода инструмента	Дозированная подача рабочей среды в зону обработки с управлением по скорости подачи
2. Глубинное электроабразивное шлифование	Подача вдоль поверхности заготовки с регулируемой скоростью	Пульсирующий поток с циклом, определяемым периодом подачи рабочей среды	Полив рабочей жидкости	Дозированная подача, изменяемая по количеству электричества, прошедшему через площадь обработки

Примечание: $P_{вх}$ – давление электролита на входе в межэлектродный зазор; $P_{вых}$ – противодействие электролита; V_{cp} – средняя скорость течения электролита (оценивается по среднему расходу жидкости).

Как видно из таблицы 1, пульсирующий поток электролита применяется не только при электрохимической размерной обработке (ЭХО), но и в комбинации с электроэрозионным, механическим процессом.

В таблице 2 приведен пример обработки обтекателя антенны летательного аппарата с переменной (от 70 до 180 мм) шириной профиля и подачи потока в том же направлении.

Таблица 2

Способ обработки	Режим обработки	Шероховатость, мм		Погрешность профиля, мм	
		до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
ЭХО постоянным потоком	Нестабильный поток рабочей среды	Rz=60-80	Ra=1-5	±1,0	±0,8
ЭХО с регулированием потока (ЭХОР)	Пульсирующий поток совмещенный с импульсами тока	Rz=80-90	Ra=1-1,25	±1,0	±0,4

По техническим условиям на обтекатель шероховатость поверхности после обработки должна быть не более $Ra=1,25$ мкм, погрешность до $\pm 0,5$ мм. Традиционный метод обработки с постоянным потоком электролита не может обеспечить этих показателей даже при более качественной заготовке. Пульсация потока с периодом анодного растворения 8-10 с позволила обеспечить параметры, заданные техническим заданием на деталь.

Научными коллективами Воронежа и Казани проведены исследования процессов электрохимической размерной обработки в нестационарном режиме [9] и при низких напряжениях, что позволяет значительно упростить и удешевить средства технологического оснащения. С учетом полученных результатов необходимо адаптировать разработанные методы к

типовым технологическим процессам, в частности применять обработку при низких напряжениях в комбинированных химикомеханических способах восстановления зубчатых передач.

Одним из перспективных направлений в области создания оборудования и оснастки для электрохимической размерной обработки является применение приводов (в том числе для импульсного перемещения электрода-инструмента) с использованием высокого (до 60 МПа) давления рабочей среды [10]. Это позволяет сократить размеры приводов и расширить зону обработки, в том числе для крупногабаритных деталей. Здесь еще требуется решение ряда вопросов по обеспечению герметичности и надежности магистралей, работоспособности подвижных элементов станков.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ современного состояния в области электроэрозионной и электрохимической размерной обработки показывает, что созданный ранее задел в этой области исследований позволяет получать новые технологические результаты, расширяющие возможности машиностроения по созданию конкурентоспособной наукоемкой продукции.

2. Показано, что за счет управления потоком электролита можно расширить область использования электрохимической размерной обработки на длинномерные детали, сохранив при этом высокие технологические показатели, ранее достижимые только для изделий с малыми габаритами.

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. Коденцев, С.Н. Механизм протекания процесса эрозионно-термической обработки деталей [Текст] / С.Н. Коденцев // Нетрадиционные методы обработки: сб. научн. тр., вып. 3. М.: Машиностроение, 2009. – С. 30-138.
2. Бойко, А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий [Текст] / А.Ф. Бойко. - Белгород: БГТУ, 2010. – 314 с.
3. Патент 2396153 (РФ) Способ электроэрозионного восстановления деталей из стали или чугуна (Авт.: В.П. Смоленцев, А.В. Бондарь, А.Н. Некрасов, Г.М. Фатыхова), Бюллетень изобр. №22, 2010.
4. Патент 2405662 (РФ) Способ нанесения чугунного покрытия на алюминиевые сплавы (Авт.: В.П. Смоленцев, А.В. Гребенщиков, А.В. Перова, Б.И. Омигов), Бюллетень изобр. №34, 2010.
5. Смоленцев, В.П. Физические основы и технологическое применение электроконтактного процесса [Текст] / В.П. Смоленцев, Н.В. Сухоруков. - Воронеж: ВПИ, 1998. – 148 с.
6. Смоленцев, В.П. Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей [Текст] / В.П. Смоленцев. - М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.
7. Газизуллин, К.М. Электрохимическая размерная обработка крупногабаритных деталей в пульсирующих рабочих средах [Текст] / К.М. Газизуллин. - Воронеж: ВГУ, 2002. – 243 с.
8. Житников, В.П. Импульсная электрохимическая размерная обработка [Текст] / В.П. Житников, А.Н. Зайцев. - М.: Машиностроение, 2008. – 413 с.
9. Смоленцев, Г.П. Теория электрохимической обработки в нестационарном режиме [Текст] / Г.П. Смоленцев, И.Т. Коптев, В.П. Смоленцев. - Воронеж: ВГТУ, 2000. – 103 с.
10. Щипанов, М.В. Проектирование магистралей высокого давления для технологической оснастки и электрохимического оборудования [Текст] / М.В. Щипанов, А.В. Кузовкин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - №5. – С.79-83.

Владислав Павлович Смоленцев
Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет»
Тел.: 89036559970(моб)
E-mail: vsmolen@inbox.ru

Иван Тихонович Коптев
Кандидат технических наук,
профессор
ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный техниче-
ский университет»
Тел.: (473) 234-81-17.

Камиль Мирбатович Газизуллин
Доктор технических наук, профес-
сор
ФГБОУ ВПО «Казанский государ-
ственный
энергетический университет»
Тел.: 89172682428 (моб).

V.P. SMOLENTSEV, I.T. KOPTEV, K.M. GAZIZULLIN

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES AND DEVELOPMENT PROSPECT OF ELECTROEROSION AND ELECTROCHEMICAL DIMENSIONAL MACHINING

Progress analysis of national scientific groups for prospect of technological usage electro-erosion and electrochemical dimensional machining is given in the article. List of literary sources with particular description of new technological processes is represented

Keywords: electroerosion, electrochemistry, technological processes, processes design

BIBLIOGRAPHY

- [1]Kodentsev, S.N. Process behavior mechanism of erosive-thermal details machining [Text] / S.N. Kodentsev // nontraditional processing techniques: collection of scientific papers, publication 3. M.: Mechanical Engineering, 2009. – 130-138 p.
- [2]Boyko, A.F. Effective technology and equipment for electroerosion insertion of sensitive pin holes [Text] / A.F. Boyko // Belgorod: BSTU, 2010. – 314 p.
- [3]Patent 2396153 (RF) Electroerosion restoration method of details from steel and cast iron [Text] / V.P. Smolentsev, A.V. Bondar, A.N. Nekrasov, G.M. Fatykhova, bulletin of inventions, №22, 2010.
- [4]Patent 2405662 (RF) Application technique of cast iron covering on the aluminum alloy [Text] / V.P. Smolentsev, A.V. Grebenshikov, A.V. Perova, B.I. Omigov), bulletin of inventions, №34, 2010.
- [5]Smolentsev, V.P. Physical bases and technological application of electrocontact process [Text] / V.P. Smolentsev, N.V. Suchorukov. - Voronezh: VPI, 1998. – 148 p.
- [6]Smolentsev, V.P. Electrochemical machining technology of inner surfaces [Text] / V.P. Smolentsev. - M.: Mechanical Engineering, 1978. – 176 p.
- [7]Gazizullin, K.M. Electrochemical dimensional machining of large dimension details in pulsatory operating environment [Text] / K.M. Gasizullin. - Voronezh: VSU, 2002. – 243 p.
- [8]Zhitnikov, V.P. Impulse electrochemical dimensional machining [Text] / V.P. Zhitnikov, A.N. Zaytsev. - M.: Mechanical Engineering, 2008. – 413 p.
- [9]Smolentsev, G.P. Electrochemical machining theory in nonsteady state [Text] / G.P. Smolentsev, I.T. Kop-tev, V.P. Smolentsev. - Voronezh: VSU, 2000. – 103 p.
- [10]Schipanov, M.V. High pressure pipe-lines design for production accessories and electrochemical equip-ment [Text] / M.V. Schipanov, A.V. Kuzovkin // Fundamental and applied problems of technique and technology. - 2011. - №5. – P.79-83.

Vladislav Pavlovich Smolentsev
Doctor of Technical Science, profes-
sor of FSBEI HVE
“Voronezh State Technical Univer-
sity”,
mobile phone: 89036559970
E-mail: vsmolen@inbox.ru

Ivan Tihonovich Koptev
Candidate of Technical Science,
professor of
FSBEI HVE “Voronezh State
Technical University”,
Tel. (473) 234-81-17.

Gazizullin Kamil Mirbatovich
Doctor of Technical Science, profes-
sor of FSBEI HVE
«Kazan State Power University»,
mobile phone: 89172682428.

УДК 621.822

С.В. СОРОКИН, Е.А. ПОЛЬСКИЙ, Г.А. ФЕДЯЕВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СОВРЕМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ

*Разработана концептуальная модель системы автоматизации проектирования тех-
нологических процессов изготовления деталей на основе метода синтеза для условий совре-
менного производства.*

Ключевые слова: синтез технологических процессов, автоматизированные системы,
технологическая подготовка производства.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Технологическая подготовка в современных условиях, не может осуществляться без использования средств автоматизации и систем автоматизированного производства (CAD/CAM/CAE-систем). Однако отдельное использование этих средств не дает желаемого результата, а иногда создает еще и дополнительные препятствия. В настоящее время вопросы технологической подготовки могут быть решены на качественно новом уровне с использованием интегрированных САПР. Применение этих систем должно быть неразрывно связано с CALS-технологиями – современными технологиями информационной интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов.

На сегодняшний день использование интегрированных САПР сводится, в основном, только к программному объединению CAD/CAM/CAE уже существующих систем, разработанных как отдельные продукты и плохо связанных друг с другом. Особенно это проявляется при переходе от конструкторской (CAD) к технологической подготовке производства (CAM) и выражается в плохой проработке форматов представления технологических данных о проектируемом изделии (геометрическая точность выполняемых размеров, качество, поле допуска, шероховатость, волнистость, отклонения формы, физико-механические, физико-химические свойства поверхностных слоев и другие параметры качества обрабатываемых поверхностей). Необходимые сведения для проектирования представляют собой простую выборку из баз данных, которыми оперирует проектировщик. Большие объемы информации, быстрый рост возможностей станков и инструментов, заставляет рассматривать другие подходы в обработке информации и проектировании изделий в целом.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью работы является автоматизация процедуры классификации деталей общемашиностроительного назначения в интегрированных САПР и разработка системы проектирования технологических процессов изготовления изделий методом синтеза для условий современного производства.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- проводится анализ существующих подходов к формализации и автоматизации технологического обеспечения требуемой точности и качества поверхностей деталей машин при использовании современного многоцелевого оборудования;
- разрабатывается методика автоматизации процедуры классификации технических объектов и построения конструкторско-технологической модели (КТМ) детали в условиях применения интегрированных САПР;
- разрабатываются принципы формализации принятия проектных решений в рамках процесса автоматизации технологического обеспечения требуемой точности и качества поверхностей деталей машин при их изготовлении на основе метода синтеза технологических процессов;
- разрабатывается методика автоматизации процедуры синтеза конструкции установочно-зажимных элементов станочных приспособлений с применением интегрированных САПР для обработки деталей на современном многофункциональном оборудовании.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Современный этап развития технологии машиностроения заключается в объединении технологий проектирования, изготовления и эксплуатации машин и в разработке научных основ по системному описанию технологических методов, позволяющих обеспечить необходимые эксплуатационные свойства деталей машин. Одним из инструментов решения этих задач является интегральная автоматизация этапов технической подготовки производства (ТПП) путем построения моделей элементов ТПП с применением средств вычислительной техники и программного обеспечения, в том числе систем искусственного интеллекта.

Решения, принимаемые на начальных этапах ТПП определяют конструктивное оформление узлов машин и технологические методы обеспечения эксплуатационных харак-

теристик. Исправление ошибок, допущенных на этой стадии, приводит к значительным финансовым и материальным затратам, и тем сложнее, чем позже эти ошибки выявляются.

В настоящее время задачи проектирования деталей машин могут быть решены на качественно новом уровне за счет интеграции процессов автоматизации начальных этапов ТПП с последующим использованием полученных результатов на этапе автоматизированного проектирования с применением интегрированных САПР (CAD/CAM/CAE-систем). Применение этих систем неразрывно связано с CALS – современными информационными технологиями для интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов. В основе CALS лежит использование комплекса единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректная интерпретация на всех этапах жизненного цикла изделия. Поэтому очевидно, что автоматизированное определение параметров качества, эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деталей, являясь одной из задач подготовки производства, должно также рассматриваться в контексте применения CALS-технологий.

Технологическая подготовка производства заключается в проектировании технологических процессов, выборе их параметров, оборудования и средств технологического оснащения для проведения этих процессов. Генеративный подход к разработке технологии подразумевает автоматический синтез стратегии обработки на основании геометрической конфигурации и технических требований, предъявляемых к детали, с указанием сведений о материале, особенностях обработки и предлагаемых методиках контроля изделия.

На первом этапе разработки плана производства новой детали в генеративном подходе технические требования вводятся в компьютерную систему. Для этого необходимо, чтобы автоматизированная система могла распознавать конструктивно-технологические элементы детали (КТЭ), требующие машинной обработки. Реализация этой процедуры значительно упрощается, если при моделировании детали используется объектно-ориентированный подход. Однако, даже КТЭ, реализованные в системе объектно-ориентированного моделирования, могут потребовать дополнительного преобразования, с целью формализации исходной технологической информации. Так, например, большинство 3D моделей САД-систем не содержат сведений о допусках, материалах, твердости отдельных поверхностей и их приходится вводить вручную. Схема кодирования должна определять все геометрические элементы и их параметры, в частности положение, размеры и допуски, а также сведения о форме заготовки.

На втором этапе закодированные данные и текстовая информация преобразуются в подробный технологический план производства детали. На этом этапе определяется оптимальная последовательность операций, условия их выполнения, проводится синтез средств технологического оснащения (подбирается и проектируется инструмент, измерительные приборы, выбирается схема базирования и закрепления заготовки, анализируются кинематические схемы формообразующих движений исполнительных органов станков). Для построения столь подробного плана производства деталей требуется переработка больших объемов входной информации и сложная логическая система преобразования данных, поэтому автоматизированный подход к синтезу технологических процессов изготовления изделий строится на формализованном описании различных классов деталей с фиксированным набором элементарных поверхностей.

Целью проводимой работы становится комплексная автоматизация проектирования технологических процессов обработки деталей на современном оборудовании с использованием формализованных конструкторско-технологических классификаторов.

В рамках выполняемой работы рассматриваются следующие основные направления:

1. Классификация конструкторско-технологических элементов деталей машин. Анализ необходимости, дополнения и переработки классификатора конструкторско-технологических элементов, в соответствии с современными возможностями инструмента станков.

2. Проведение анализа кинематических возможностей современных многофункциональных станков.

3. Выделение основных типов компоновок современного оборудования; анализ видов движений станков и их связь с деталью и инструментом.

4. Проведение анализа возможностей и классификация современного лезвийного инструмента.

5. Разработка концептуальной модели системы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления деталей на основе метода синтеза для условий современного производства.

6. Разработка подходов к формализации процедуры классификации и анализа конструкторско-технологических элементов, используемых в процессе проектирования, формирования КТМ детали и синтеза конструкций станочных приспособлений.

Классификация КТЭ деталей машин. Проектирование маршрута обработки элементарной поверхности на этапах автоматизированного конструирования следует начинать с представления поверхности детали в виде набора элементарных поверхностей, для которых легко подобрать все возможные способы обработки, и, проведя последовательно анализ всех этих вариантов, выбрать самый приемлемый, то есть задача состоит в построении конструкторско-технологической модели (КТМ) детали.

Проанализировав существующие подходы к формализации описания совокупностей элементарных поверхностей, можно определить набор частных КТЭ необходимых для описания КТМ деталей различных классов. В данной работе за основу была принята классификация, разработанная В.Д. Цветковым. В этой классификации выделяются следующие классы КТЭ: 1) плоские поверхности; 2) поверхности вращения; 3) винтовые поверхности; 4) линейчатые поверхности; 5) зубчатые поверхности.

Рассматривая каждый из представленных классов КТЭ необходимо отметить, что для каждого КТЭ могут быть характерны следующие признаки:

- конструктивное положение КТЭ (наружное или внутреннее);
- конструкторско-технологическое положение КТЭ (открытое, полуоткрытое, закрытое).

Приведем в качестве примера классификацию КТЭ группы поверхностей вращения (рисунок 1).

Анализ современных многоцелевых станков с программным управлением. Все движения, в том числе и формообразующие, с точки зрения общей теории станков называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования **Ф**; установочные **Уст**; деления **Д**; управления **Упр** и вспомогательные **Всп**.

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, а, следовательно, поверхность заданной формы в целом, называют формообразующими. Установочными называют движения заготовки и инструмента, необходимые для перемещения их в такое относительное положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать поверхности требуемого размера. Иногда установочное движение, при котором отсутствует резание, называют наладочным. Если при установочном движении происходит резание материала, то такое движение называют движением врезания (обозначается **Вр**). Делительными называют движения, необходимые для обеспечения равномерного расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей. К вспомогательным движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование, быстрое перемещение заготовки и режущего инструмента в зону резания, охлаждение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т. п. К движениям управления относят те, которые совершают органы управления, регулирования и координирования всех других исполнительных движений станка. К таким органам относятся муфты, реверсирующие устройства, кулачки, ограничители хода и др.

2 Поверхности вращения

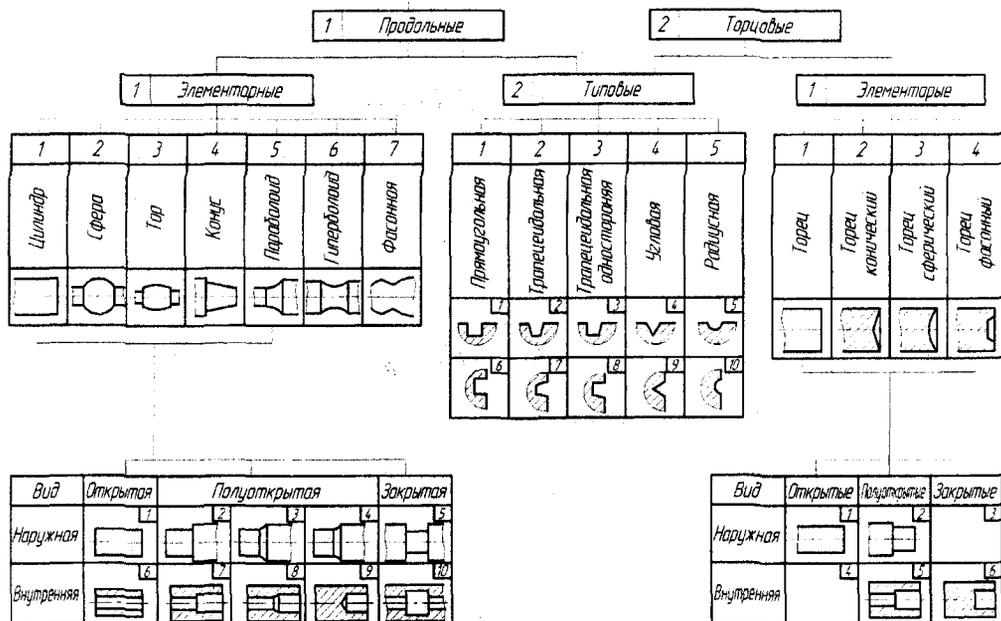


Рисунок 1 - Классификация КТЭ поверхностей вращения

Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, установочные (врезания) и деления.

Любое исполнительное движение в станке можно охарактеризовать пятью пространственными параметрами: траекторией, скоростью, направлением, путем и исходной точкой. Наиболее важными параметрами любого движения являются траектория и скорость.

Для описания движений многофункциональных станков используем модульный принцип построения этих станков. На сегодняшний день у разных производителей по-разному звучат названия одних и тех же частей станка, например, инструментальный шпиндель может иметь названия силовой головки, кроме этого отличаются названия частей станка для токарных многофункциональных станков и станков сверлильно-фрезерно-расточной группы. Таким образом, для того, чтобы рассматривать движения любого станка независимо от его специализации и компоновки следует ввести следующие ограничения:

- основная система координат станка – система координат, относительно которой будут рассматриваться все остальные движения;
- система координат отдельных частей станка (шпиндель, протившпиндель, инструментальный шпиндель и т.д.).

Для обозначения координатных осей основной системы координат станка используем буквы *xuz*, а для обозначения вращения вокруг этих осей используем буквы *ABC* для соответствующих осей (рекомендации стандарта ISO 7-bit).

Для обозначения координатных осей и вращения вокруг этих осей, частей станка, используем обозначение, принятое для координатных осей и вращения вокруг этих осей для основной системы координат с добавлением индекса, соответствующего порядку рассмотрения различных частей станка ($x_1, y_1, z_1, A_1, B_1, C_1$ и т.д.). Основные компоновки и системы координат исполнительных органов токарных многоцелевых станков и станков сверлильно-фрезерно-расточной группы приведены в таблице 1.

Анализ различных компоновок многофункциональных станков показал, что в общем случае производители станков, используя модульный принцип построения станка, могут предложить множество его различных компоновок. Несмотря на это, следует отметить, что в

данной работе важным является не физическая компоновка станка, а его теоретическая компоновка, т.е. наличие тех или иных составных частей станка и соответствующих им движений. На рисунке 2 представлена схема представления движений современных станков и движений этих станков, применяемая в дальнейшем в данной работе.

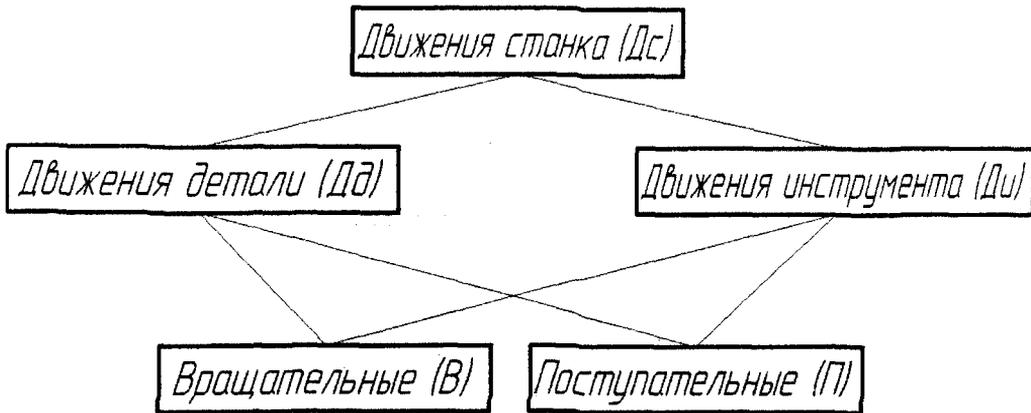


Рисунок 2 - Схема представления движений многофункциональных станков

Структура конструкторско-технологической модели формообразования детали $Q_{КТ}$, можно представить следующим образом:

$$Q_{КТ} = \langle Z, M_{КТ}, C_{КТ}, S \rangle,$$

где $Z = \langle Z_1 \dots Z_n \rangle$ - данные для идентификации детали и общие сведения о ней; $M_T = \langle \mathcal{E}_{КТ}, O_{КТ} \rangle$ - структурный состав детали; $\mathcal{E}_{КТ}$ - множество конструкторско-технологических элементов (КТЭ); $O_{КТ}$ - множество отношений над ними; $C_{КТ} = \langle \mathcal{E}_{КТ}, I \rangle$ - множество схем обработки конструкторско-технологического элемента; $I = \langle I_1 \dots I_n \rangle$ - данные о инструменте, образующем i -ю схему обработки; $S = \langle B_c, D_c \rangle$ - структурный состав станка; B_c - множество блоков станка; D_c - множество движений блоков станка.

В отличие от обобщенной КТМ, в данном определении, основные технологические базы, задаются в САПР ТП на стадии синтеза установочно-зажимных элементов станочных приспособлений. Кроме того, используется единственный уровень расчленения детали. В свою очередь любой КТЭ состоит из геометрических элементов. Набор элементов составляющих КТЭ унифицирован, и не зависит от форматов обмена информацией в САПР, используемым для представления геометрической модели детали на выходе САПР конструкторского назначения.

Для эффективной обработки геометрическая модель должна включать в себя как плоский чертеж, выполненный в соответствии со стандартами, так и трёхмерную модель (современные САД системы тяжелого и среднего уровня обеспечивают такую возможность). Использование такого двойственного представления позволяет, с одной стороны, эффективно получать негеометрическую информацию из чертежа (параметры точности, качества поверхностей и т.д.), с другой стороны, трёхмерная модель наилучшим образом описывает геометрию и топологию детали и наиболее близка к реальной детали (рисунок 3). Следовательно, и КТЭ, как некая сущность, может иметь два представления - в виде набора линий, текстов на плоскости (чертеже) и в виде набора трехмерных поверхностей. Причем первичным является трёхмерное представление, чертеж можно рассматривать как проекцию трехмерного изображения, дополненную негеометрическими элементами.

Таблица 1 - Схемы компоновок станков с программным управлением

<p>1. Горизонтальная компоновка токарного станка, со шпинделем и противошпинделем, инструментальным шпинделем, двумя револьверными головками</p> <p>Инструментальный шпиндель</p> <p>Шпиндель</p> <p>Противошпиндель</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p>	<p>2. Горизонтальная компоновка токарного станка, со шпинделем и противошпинделем, с четырьмя револьверными головками</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p> <p>Шпиндель</p> <p>Противошпиндель</p> <p>Револьверная головка 3</p> <p>Револьверная головка 4</p>
<p>1.3. Вертикальная компоновка токарного станка с двумя шпинделями и двумя револьверными головками</p> <p>Шпиндель 1</p> <p>Шпиндель 2</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p>	<p>Вертикальная компоновка многоцелевого станка с вращением стола с деталью и свободным перемещением инструмента</p>

Следовательно, КТЭ можно представить следующим образом:

$$\mathcal{E}_{КТ} = \langle \Pi, (\mathcal{E}_{3D}, \mathcal{E}_4, O), C \rangle, \quad (2)$$

где $\Pi = \langle \Pi_1 \dots \Pi_m \rangle$ – параметры описывающие КТЭ; \mathcal{E}_{3D} – множество элементов трехмерного представления КТЭ; \mathcal{E}_4 – множество элементов двумерного представления КТЭ; O – множество отношений над ними; C – множество ограничений на параметры и структуру КТЭ.

Схема обработки КТЭ ($C_{КТ}$) можно представить, как взаимодействие самого КТЭ ($\mathcal{E}_{КТ}$) и инструмента (I_i). При этом в данной работе нас будет интересовать только движения КТЭ ($D\mathcal{E}_{КТ}$) и движения инструмента (DI_i), образующих схему обработки.

Структурный состав станка (S) представляется совокупностью составляющих его блоков (B_C) и множеством движений (D_C), характеризующих каждый блок станка. Однако, для общего представления информации о станке, на данном этапе необходимы следующие данные о блоках станка (необходимые данные можно отнести к параметрам каждого из блоков станка):

- назначение блока станка с программным управлением (для обеспечения движения инструмента или детали);

- возможность обеспечения блоком своих функций, описывается множеством объектов, которые могут использоваться данным блоком.

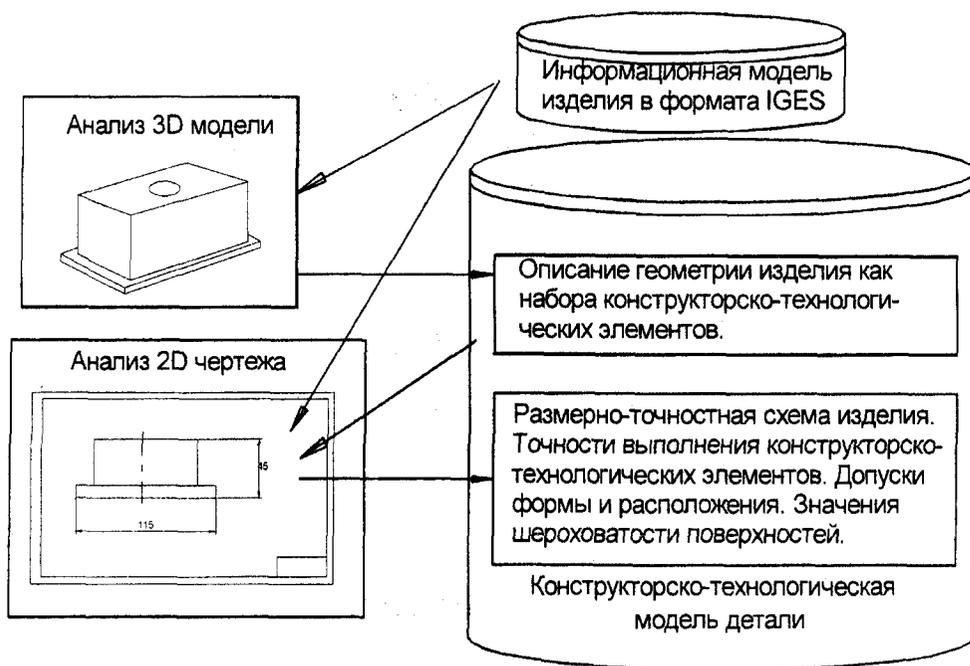


Рисунок 3 - Схема преобразования информационной модели детали

АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для описания возможностей металлорежущего инструмента в данной работе использовались каталоги продукции ведущих мировых производителей инструмента, таких как: ISCAR, Sandvik, Mitsubishi. В результате исследования продукции указанных фирм появилась классификация современного металлообрабатывающего инструмента. За основу классификации, была принята классификация инструмента фирмы ISCAR.

Представленная в данной работе классификация инструмента имеет самый общий характер, основным критерием классификации была возможность инструмента реализовывать формообразование элементарной поверхности деталей машин.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Общую блок-схему технологической подготовки производства на основе метода генерации технологических процессов, можно представить в следующем виде (рисунок 4).

В блоках 1 – 5 описаны основные этапы конструкторской подготовки производства. Главным связующим звеном конструкторской и технологической подготовки, являются чертеж и 3D-модель детали с соответствующими параметрами и техническими требованиями (блок 6).

Из представленной схемы видно, что блок (блоки 7, 8, 9) представления детали как совокупность КТЭ нельзя отнести ни к конструкторской, ни к технологической подготовке производства. Этот блок, является связующим, и его наличие отражает единство конструкторской и технологической подготовки производства. В блоке 7, 8 описывается структура КТЭ и их параметров. В блоке 9, который, является наиболее сложным, и его корректность во многом определяет правильность работы и получение адекватных результатов других

блоков, отражена процедура формализации конструкторско-технологического описания КТМ детали.

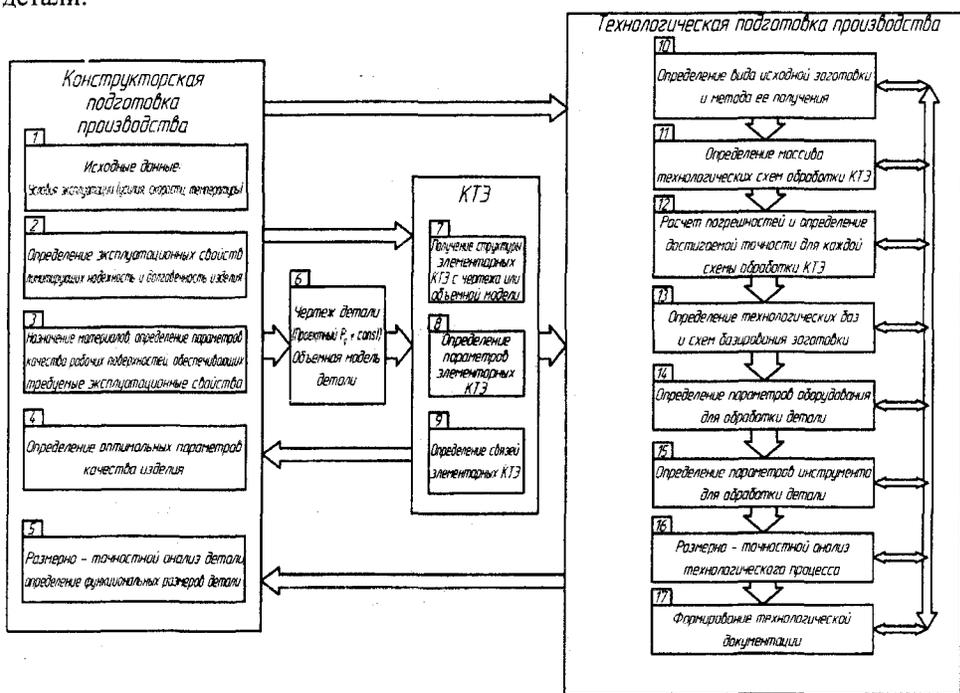


Рисунок 4 - Общая блок схема автоматизации технологической подготовки производства на основе метода генерации технологического процесса

В блоках 10 – 17 рассматриваются основные этапы технологической подготовки производства при автоматизированном проектировании технологических процессов на основе метода генерации.

ВЫВОДЫ

В результате анализа проблемы и проводимых в работе исследований по автоматизации проектирования технологии обработки деталей методом синтеза, разработана структурная схема, информационное и программное обеспечение автоматизированной системы, реализующей принципы проектирования технологических процессов для современных условий производства.

Современное инновационное производство, широкое использование наукоемких технологий в общем машиностроении, быстрая смена номенклатуры выпускаемых изделий требуют совершенствования работы инженерных служб предприятий. Применение разрабатываемой автоматизированной системы позволит значительно сократить время освоения новой продукции за счет оптимизации работы инженера-проектировщика на начальных этапах технической подготовки производства, при технологическом обеспечении необходимых показателей качества изготавливаемых деталей и сборки узлов.

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. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития [Текст] / Под общ. ред. М.Л.Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Полоцкий Государственный Университет. – 2002. – 364 с.

2.Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Класс 71. [Текст] : Издание официальное. - Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991.

3.Цветков, В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов [Текст] / В.Д. Цветков. - Минск: Наука и техника, 1979. - 264 с.

Сорокин Сергей Владимирович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Брянск, тел. (4832) 58-82-20,
E-mail: irb18@yandex.ru

Польский Евгений Александрович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Федяева Галина Анатольевна
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы»

S.V. SOROKIN, E.A. POLSKI, G.A. FEDYAEVA

AUTOMATION OF DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PROCESSING OF DETAILS ON THE MODERN EQUIPMENT

On the basis of a method of synthesis the conceptual model of system of automation of designing of technological processes of manufacturing of details is developed for conditions of modern manufacture/

Keywords: *Synthesis of the technological processes, the automated systems, technological preparation of manufacture.*

[1]Intellectual manufacture: a condition and development [Text] / prospects Under general edition M.L.Hejfetsa and B.P.Chemisova. – Polotsk State University, 2002 – 364 p.

[2]ESKD qualifier. The illustrated determinant of details. A class 71 [Text] : The edition official. - Committee for Standardization and Metrology of the USSR, 1991.

[3]Cvetkov, V.D. System-structural modeling and automation of designing of technological processes [Text] / V.D. Cvetkov. - Minsk: The Science and technics, 1979. - 264 p.

Sorokin Sergey Vladimirovich
Bryansk state technical university,
Bryansk
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Technology of mechanical engineering»
Bryansk, tel. (4832) 58-82-20,
E-mail: irb18@yandex.ru

Polski Evgenie Aleksandrovich
Bryansk state technical university,
Bryansk
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the senior lecturer of chair «Technology of mechanical engineering»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Fedjaeva Galina Anatolevna
Bryansk state technical university,
Bryansk
Dr.Sci.Tech., the professor, the professor of chair «Electronic, radio-electronic and electrotechnical systems»

УДК 621.048

М.А. ТАМАРКИН, Э.Э. ТИЩЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ САПР ТП ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ

В статье рассматриваются основы проектирования САПР ТП обработки деталей поверхностным пластическим деформированием в гранулированных средах. На базе комплексных исследований разработана обобщенная теория отделочно-упрочняющей обработки гибкой средой, представлены зависимости для определения шероховатости поверхности, времени обработки, глубины упроченного слоя и степени упрочнения для различных методов обработки поверхностным пластическим деформированием в гранулированных средах. Исследован процесс формирования остаточных напряжений.

Ключевые слова: *качество поверхности, глубина упроченного слоя, степень упрочнения, остаточные напряжения, САПР ТП обработки в гранулированных средах.*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие машиностроения на современном этапе невозможно без постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Для решения этой задачи разрабатываются и внедряются новые методы обработки. К таким методам относятся методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) в гибких гранулированных рабочих средах. В последнее время они находят всё большее применение в различных отраслях промышленности на этапах финишной обработки, т.к. имеют достаточно широкие технологические возможности, что в свою очередь позволяет обрабатывать детали самой различной конфигурации и обеспечивать высокое качество поверхностного слоя.

Необходимо отметить, что обработка, основанная на пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя (отделочно-упрочняющая обработка) при помощи гибкой рабочей среды, имеет по сравнению с другими финишными методами обработки поверхности ряд преимуществ: сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое; отсутствует шаржирование обрабатываемой поверхности частицами абразивных зерен (если обработка ведется в среде абразива); отсутствуют термические дефекты; обеспечивается стабильное качество поверхности; обеспечивается возможность достижения минимальных высотных параметров шероховатости поверхности как на термически необработанных сталях, цветных сплавах, так и на высокопрочных материалах; создается благоприятная форма микронеровностей с большой долей опорной площади на уровне вершин неровностей; создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое; повышается микротвердость поверхности; как правило, отделочно-упрочняющая обработка гибкой рабочей средой (ОУО ГРС) не требует применения сложного оборудования и оснастки; ОУО ГРС могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных материалов.

На основании проведенных исследований создана обобщенная теория ОУО ГРС для отделочно-упрочняющей вибрационной обработки (ВиОУО), отделочно-упрочняющей центробежно-ротационной обработки (ОУЦРО), обработки дробью (ОД) и других подобных методов.

Методы обработки ППД гибкой рабочей средой широко применяются в промышленности. Каждый из этих методов имеет свою область применения, преимущества и недостатки. Накоплено значительное количество исследований, проводимых в этой области. На основании результатов работ Бабичева А.П., Трилиского В.О., Копылова Ю.Р., Петросова В.В., Кудрявцева И.В., Смелянского В.М. и других, а также результатов собственных исследований разработана комплексная система моделей отделочно-упрочняющей обработки гибкой рабочей средой, включающая взаимосвязанные модели единичного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью детали, формирования шероховатости обработанной поверхности, глубины упрочненного слоя. Проведено исследование эксплуатационных свойств обработанных деталей.

При исследовании основных технологических параметров методов ОУО ГРС (производительности процесса и качества обработанной поверхности) одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц среды с поверхностью обрабатываемой детали. Разработка теоретических зависимостей, описывающих форму и размеры следов обработки, позволяет в дальнейшем перейти к теоретико-вероятностному описанию распределения следов на поверхности детали, что в свою очередь даёт возможность разработать модель формирования профиля шероховатости и физико-механических свойств поверхности детали.

Деформирование неровностей при ОУО ГРС происходит следующим образом: частица среды взаимодействует с выступами микропрофиля поверхности обрабатываемой детали, в результате чего эти выступы пластически деформируются, вызывая течение металла (в микрообъемах), причём пластическая деформация происходит в поверхностном слое детали. Это связано со значительным превышением твёрдости рабочих тел по сравнению с твёрдостью обрабатываемого материала.

В начале процесса взаимодействия частица среды соприкасается с вершинами неровностей детали по дуге. Длина отрезка контакта увеличивается по мере внедрения частицы в поверхность вплоть до частичной или полной деформации микронеровностей. При этом силы трения на поверхности контакта препятствуют деформации неровностей в окружном направлении. Возникшие в результате взаимодействия касательные напряжения максимальны на контактной поверхности и уменьшаются по мере удаления вглубь материала. Увеличивающиеся на поверхности контакта неровности с частицей среды давления приводят к пластическому течению металла в направлении минимального сопротивления, то есть в направлении свободной поверхности впадины микронеровностей. В результате перераспределения усилий впадины микронеровностей "поднимаются" вплоть до контакта с поверхностью обрабатываемого тела. Этот процесс протекает тем интенсивнее, чем деформируемый выступ находится ближе к зоне максимальных давлений.

Глубину внедрения частицы среды (чаще всего металлического шарика) можно определить по зависимости

$$h_{\max} = 2 \cdot V_{\text{эф}} \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_c}{3k_s \cdot c \cdot \sigma_s}} \quad (1)$$

где $V_{\text{эф}}$ - эффективная скорость частицы (определяется особенностями конкретного вида обработки), R - радиус частицы, α - угол встречи частицы с поверхностью детали, ρ_c - плотность материала частицы; k_s - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости детали; c - коэффициент несущей способности контактной поверхности; σ_s - предел текучести материала детали.

Для обработки дробью эта зависимость выглядит следующим образом:

$$h_{\max} = 1,6 \cdot K_L \cdot R \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{дин}} \cdot \rho_c}{k_s \cdot c \cdot \sigma_s \cdot \rho_{\text{см}}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{дин}}$ - динамическое давление; K_L - коэффициент потерь, учитывающий расстояние до обрабатываемой детали и плотность потока шариков (определяется при проведении экспериментальных исследований); $\rho_{\text{см}}$ - плотность смеси.

Величина деформации поверхностного слоя в значительной степени определяется физико-механическими свойствами материала обрабатываемой детали, а также количеством взаимодействий, приходящихся на каждую точку обрабатываемой поверхности.

Контактные напряжения, возникающие в зоне обработки под действием частиц среды, зависят не только от усилия соударения, но и от размера частицы и высоты исходных микровыступов.

Контактная поверхность, вследствие её зависимости от угла соударения и формы исходной шероховатости, имеет сложную пространственную форму. В случае обработки стальными полированными шариками представляется возможным принять эллипсоидную форму номинальной контактной поверхности. Это значительно упрощает дальнейшие теоретические расчёты.

Пятно контакта частицы среды с поверхностью детали представляет собой эллипс, размеры полуосей которого

$$b = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2},$$

$$a = \frac{\pi}{2} \cdot (\text{ctg} \alpha - f) \cdot h_{\max} + b, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения частицы по поверхности детали.

Пластическое деформирование поверхности детали происходит при многократном взаимодействии с ней частиц среды. Образуются единичные лунки с поперечной шероховатостью, зависящие от параметров исходного профиля. Микрорельеф поверхности образуется

путём наложения и пересечения единичных следов (лунок).

Если прекратить процесс обработки до получения установившейся шероховатости, будет наблюдаться увеличение опорной поверхности профиля по сравнению с исходной.

Продолжение процесса приведёт к передеформированию выступов исходной шероховатости в том случае, если детали изначально не имели очень высокую твёрдость и значительную исходную шероховатость. На поверхности детали образуется новый специфический микрорельеф, характеризующийся однородностью свойств по всем направлениям. При продолжении процесса обработки он постоянно воспроизводится, а его параметры не будут изменяться в некоторый промежуток времени (вплоть до наступления перенаклёпа поверхности). Параметры установившейся шероховатости будут определяться только технологическими режимами и размерами частиц среды.

Среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости при ОУО ГРС можно определить по зависимости

$$Ra_{уст} = k_R \cdot \sqrt{\frac{h_{max} \cdot a \cdot b \cdot l_{eo}}{R^2}}, \quad (4)$$

l_{eo} - единичная длина, k_R - эмпирический коэффициент.

Для обработки дробью эта зависимость выглядит следующим образом:

$$Ra_{уст} = 0,009 \cdot \frac{b}{R} \sqrt{h_{max} \cdot l_{eo}} \quad (5)$$

Снижение высотных параметров исходной шероховатости при ОУО ГРС имеет сложный характер. Поэтому получить строгую теоретическую модель для определения времени обработки пока не представляется возможным.

Как отмечают многие исследователи [2,8], изменение шероховатости поверхности носит экспоненциальный характер. Скорость образования нового рельефа снижается от максимального значения в начальный период, до значений мало отличающихся от нуля к моменту образования установившейся шероховатости, что свидетельствует о формировании непрерывно воспроизводимого рельефа поверхности. Каждой комбинации технологических параметров соответствует такая удельная плотность взаимодействий и такой уровень энергии частиц среды, которые однозначно определяют как продолжительность периода, так и высотные параметры установившегося рельефа, причем последние зависят от исходной шероховатости.

Вышеуказанным условиям удовлетворяет выражение

$$Ra = (Ra'' - Ra_{уст}) e^{-k_u t} + Ra_{уст} \quad (6)$$

где Ra'' - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости, k_u - коэффициент интенсивности уменьшения шероховатости, t - время обработки, $Ra_{уст}$ - установившаяся шероховатость поверхности.

Выразив из полученной зависимости время обработки, получим следующую формулу:

$$t_z = -\frac{1}{k_u} \cdot \ln \frac{Ra_z - Ra_{уст}}{Ra_{исх} - Ra_{уст}} \quad (7)$$

где k_u - коэффициент интенсивности изменения шероховатости; $Ra_{исх}$,

Ra_z , $Ra_{уст}$ - исходная, заданная и установившаяся шероховатость поверхности соответственно.

При решении технологических задач ОУО ГРС важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени упрочнения. От толщины упрочненного слоя h_u зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность. Величина h_u определяет зону поверхностного слоя, в которой имеются остаточная деформация зерен и дислокаций кристаллической решетки, образованные в результате приложения внешней нагрузки. Аналитическое определение толщины упрочненно-

го слоя и степени упрочнения в зависимости от физико-механических свойств материала детали и параметров процесса является очень сложной задачей. Существующие математические зависимости, выведенные несколькими авторами [9,10], были получены на основе теории упругости или пластичности после принятия многочисленных упрощений и допущений.

Значительные исследования в этой области проведены И.В. Кудрявцевым, В.П. Шибыльским, Е.Г., Папшевым и др. [9,10,11].

В работе [9] приведена зависимость для определения глубины упрочненного слоя в зависимости от характеристик следа:

$$h_n = 3rk \quad (8)$$

где k - коэффициент, зависящий от степени наклепа; r - радиус пластического отпечатка.

В случае эллиптической формы отпечатка

$$r = \sqrt{a \cdot b} \quad (9)$$

где a и b - полуоси эллипса контакта.

На основании приведенных зависимостей для ОУО ГРС глубину упрочненного слоя можно определить по формуле:

$$h_n = 3k\sqrt{a \cdot b} \quad (10)$$

Согласно определения под степенью пластической деформации ε условно принимается отношение радиуса остающейся от вдавливания лунки r к радиусу вдавливаемой сферы R .

В работах [9] также приводится зависимость для определения степени упрочнения:

$$\varepsilon = \frac{r}{R} \quad (11)$$

где r - радиус пластического отпечатка; R - радиус шарика.

Используем эту зависимость для определения степени упрочнения при обработке гибкой гранулированной средой.

Учитывая ранее приведенные зависимости можно записать для ОУО ГРС

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_{\max}}{R} \cdot \left(2 - \frac{h_{\max}}{R}\right)} \quad (12)$$

Формирование остаточных напряжений при ОУО ГС представляет большой интерес при проведении исследований.

В работах [12,13] отмечено, что на величину предела выносливости оказывает влияние величина среднего напряжения цикла, влияние которого, в свою очередь, может компенсировать величина остаточных напряжений.

На основе анализа влияния средних напряжений цикла на величину предела выносливости для циклически стабильных сталей и алюминиевых сплавов предложено следующее уравнение для определения предельного напряжения цикла:

$$\sigma_a(h) = \sigma_s \left(1 - \frac{\sigma_{cp}(h)}{\sigma_s}\right) [F + \gamma(1-F)], \quad (13)$$

где σ_s - предел прочности материала образца;

σ_{cp} - остаточные напряжения;

F и γ - параметры, зависящие от материала образца.

Для образцов из алюминиевых сплавов

$$\gamma = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_B \left[1 + \frac{(\lg N_p)^4}{225} \right]};$$

$$F = \left(1 + \frac{0,0031(\lg N_p)^4}{1 + 0,0031(\lg N_p)^4} \right) / \left(1 + 0,0031(\lg N_p)^4 \right)$$
(14)

Для стальных образцов

$$\gamma = \frac{\sigma_{cp} (2 + \sigma_{cp} / \sigma_s)}{3\sigma_s};$$

$$F = \frac{1 + 0,0038(\lg N_p)^4}{1 + 0,008(\lg N_p)^4}$$
(15)

где N_p - количество циклов до разрушения.

Результаты исследований формирования поверхностных остаточных напряжений после различных видов ОУО ГС позволяют сделать вывод о том, что в поверхностном слое деталей формируются сжимающие остаточные напряжения на глубине 0,2-0,8 мм, что позволяет прогнозировать повышение эксплуатационных свойств этих деталей.

Проведен значительный комплекс экспериментальных исследований отделочно-упрочняющей обработки в гранулированных рабочих средах. Для изготовления образцов использовались материалы, применяемые в различных отраслях машиностроения: различные стали, цветные сплавы.

Построены зависимости среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости, глубины упрочненного слоя и степени упрочнения от основных технологических параметров процесса для всех исследуемых методов отделочно-упрочняющей обработки, некоторые из которых приведены на рисунках 1 и 2. На графиках зависимостей сплошной линией показана теоретическая кривая, а точками – результаты экспериментальных исследований. Проведено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований. Установлено, что расхождение между их результатами не превышает 20 %.

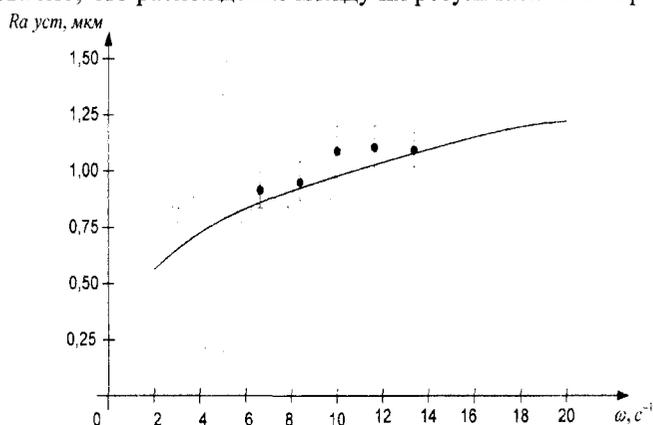


Рисунок 1 - Зависимость установившейся шероховатости поверхности от частоты вращения ротора при центробежно-ротационной обработке в среде стальных шариков для стали ХВГ

Полученная система моделей прошла комплексную экспериментальную проверку и может быть использована для проектирования технологических процессов ОУО ГРС, обеспечивающих повышение качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. На её ос-

нове разработана методика оптимизации технологических процессов и разработана САПР ТП процессов ОУО ГРС.

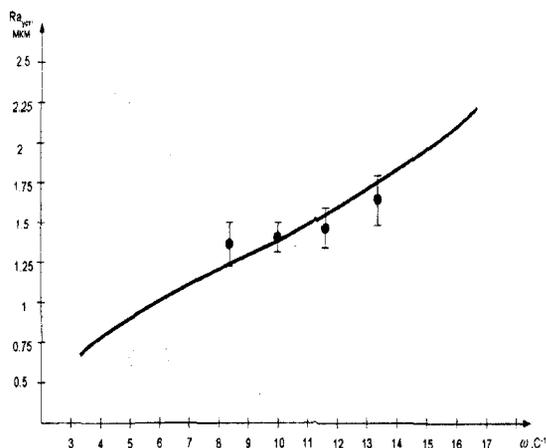


Рисунок 2 - Зависимость установившейся шероховатости поверхности от угловой скорости вращения ротора при центробежно-ротационной обработке в среде стальных шариков для сплава 29НК

Проектирование технологических процессов при ОУО ГРС включает в себя комплекс работ по изысканию, исследованию и расчётам, имеющих целью получение описания предмета проектирования, необходимого и достаточного для создания и реализации нового технологического процесса, удовлетворяющего заданным требованиям. Сложность процесса проектирования, многовариантность технологических решений, большая трудоёмкость определения оптимального варианта вызывает необходимость автоматизации проектных работ.

Для построения математического описания процесса проектирования необходимо провести формализацию, математический аппарат которой позволит описать сложные взаимосвязи, изучаемые технологией и определить процедуры, позволяющие построить проектные решения. В основу такого аппарата для ОУО ГРС могут быть положены полученные выше модели. Они в полной мере отражают всё многообразие технологических ситуаций, содержат описание свойств процесса, пригодное для синтеза алгоритмов. Результаты ОУО ГРС можно описать множеством критериев: шероховатость обработанной поверхности, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения, время или производительность обработки и т.д.

Полученные модели позволяют представить каждый показатель (критерий) в виде функциональной зависимости от множества исходных данных: управляемых технологических параметров и свойств обрабатываемого материала. Эти зависимости являются исходными в задачах оптимизации и управления.

При моделировании процессов ОУО ГРС рассмотрено влияние исходных факторов на основные показатели обработки (технологические режимы, исходная шероховатость поверхности обрабатываемой детали, размеры среды). Это позволило произвести ранжирование технологических факторов, выбрать основные, которые оказывают существенное влияние, определить какие из них следует задавать одним значением, а какие массивом чисел для формирования множества проектных решений.

При создании САПР ТП разработаны технологические алгоритмы по двум методическим направлениям:

- структурная оптимизация (выбор метода обработки, разработка процессов с минимальным числом операций и станков);
- параметрическая оптимизация (главным образом оптимизация режимов обработки отдельных операций).

Разработанная САПР ТП позволяет по характеристике детали выбрать возможные методы ОУО ГРС (в порядке предпочтительности), для каждого из них определить технологи-

ческие режимы и характеристики рабочих сред, обеспечивающие минимальное время обработки, рассчитать необходимое количество станков и рабочих сред для выполнения годовой программы, затем путем экономического сравнения выбрать оптимальный вариант технологического 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. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999. - 621 с.
2. Тamarкин, М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами [Текст] / : дис... докт. техн. наук. / М.А. Тamarкин. - Ростов-на-Дону, 1995 г.
3. Копылов, Ю.Р. Виброударное упрочнение [Текст] : монография / Ю.Р. Копылов. - Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. - 386 с.
4. Трилисский, В.О. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей [Текст] / В.О. Трилисский [и др.]. - НИИМаш, М., 1983. - 53 с.
5. Панчурин, В.В. Упрочняющая обработка зубчатых колес транспортных машин центробежно-ротационным способом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / В.В. Панчурин. - М.: МИИЖТ, 1989. - 243 с.
6. Петросов, В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента [Текст] / В.В. Петросов. - М., Машиностроение, 1977. - 166 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин [Текст] / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров [и др.] / Под общ. ред. А.Г. Суллова, 2000. - 840 с.
8. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. [Текст] / Бабичев А.П., Мотренко П.Д. [и др.] - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. - 192 с.
9. Кудрявцев, И.В. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом [Текст] / И.В. Кудрявцев [и др.]. - М. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. - 144 с.
10. Пшебыльский, В.П. Технология поверхностной пластической обработки [Текст] / В.П. Пшебыльский. - М.: Металлургия, 1991 - 476 с.
11. Папшев, Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Д.Д. Папшев. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
12. Heywood, R.V. Designing against fatigue [Text] / R.V. Heywood. - London: Chapman and Hall Ltd., 1962.
13. Трошенко, В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении [Текст] / В.Т. Трошенко. - 1981.

Михаил Аркадьевич Тamarкин
Доктор технических наук, профессор
Донской государственный технический университет
Тел: (863)-2738-725
E-mail: tehn_rostov@mail.ru

Элина Эдуардовна Тищенко
Кандидат технических наук, доцент
Донской государственный технический университет
Тел: (863)-2738-385
E-mail: lina_tishenko@mail.ru

M.A. TAMARKIN, E.E. TISHENKO

TECHNOLOGICAL BASES OF SAPR TP OF OTDELOCHNO-STRENGTHENING PROCESSING OF DETAILS IN THE GRANULATED ENVIRONMENTS

In article bases of designing of SAPR TP of processing of details by superficial plastic deformation in the granulated environments are considered. On the basis of complex researches the generalized theory of otdelochno-strengthening processing is developed by the flexible environment, dependences for definition of a roughness of a surface, time of processing, depth of the strengthened layer and degree of hardening for various methods of processing by superficial plastic deformation in the granulated environments are presented. Process of formation of residual pressure is investigated.

Keywords: quality of a surface, depth of the strengthened layer, hardening degree, residual pressure. SAPR TP of processing in the granulated environments.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Babichev, A.P. A base of vibrating technology [Text] : A.P. Babichev, I.A. Babichev. - Rostov-on-Don: Publishing center DSTU, 1999.
- [2] Tamarkin, M. A. Theoretical bases of optimization of processes of processing of details free abrasives [Text] : The dissertation of a Dr.Sci.Tech. / M.A. Tamarkin. / Rostov-on-Don, 1995
- [3] Kopylov, U.R. Vibroudarnoe hardening [Text] : the Monography / U.R. Kopylov. – Voronezh: the Voronezh institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1999.
- [4] Trilissky, V.O, etc. Volume tsentrobezhno-rotational processing of details [Text] / V.O. Trilissky, M., 1983.
- [5] Panchurin, V.V. Strengthening processing of cogwheels of transport cars by tsentrobezhno-rotational way [Text] : The dissertation of a Dr.Sci.Tech.:05.02.08. / V.V. Panchurin - M., 1989.
- [6] Petrosov, V.V. Gidrodobestrujnoe hardening of details and the tool [Text] / V.V. Petrosov. - M, Mechanical engineering, 1977.
- [7] Mechanical engineering. The encyclopedia. Manufacturing techniques of details of cars. ТИИ [Text] / A.M.Dalsky, A.G.Suslov, JU.F.Nazarov, etc. Under A.G.Suslov, 2000 .
- [8] Otdelochno-strengthening processing of details multicontact vibrashion instruments. [Text] / Babichev A.P., Motrenko P. D, etc. – Rostov –on-Don: Publishing center DSTU, 2003.
- [9] Kudrjajtsev, I.V., etc. Increase of durability and durability of large details of cars a superficial peening [Text] / I.V. Kudrjajtsev. - M., 1970.
- [10] Pshebyl'sky, V.P. Tehnologija of superficial plastic processing [Text] / V.P. Pshebyl'sky. – M: Metallurgy, 1991.
- [11] Papshev, D.D. Finishing processing by superficial plastic deformation [Text] / D.D. Papshev. - M: Mechanical engineering, 1978.
- [12] Heywood, R.B. Designing against FATIGUE [Text] / R.B. Heywood. - London: Chapman and Hall Ltd., 1962
- [13] Troshchenko, V. T. Deformation and destruction of metals at multicyclic loading [Text] / V.T. Troshchenko, 1981.

Michael Arkadevich Tamarkin
Dr.Sci.Tech., the professor
Don state technical university
Phone: (863)-2738-725
E-mail:tehn rostov@mail.ru

Elina Eduardovna Tishchenko
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer
Don state technical university
Phone: (863)-2738-385
E-mail:lina tishenko@mail.ru

УДК 621.787

А.В. ТОТАЙ, В.П. ТИХОМИРОВ, Л.А. САВИН

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ЧУГУННЫХ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ**

Описано влияние технологических факторов, химического состава, механических свойств чугуна, параметров качества поверхностного слоя на износостойкость чугунных поршневых колец. Дан анализ причин снижения износостойкости чугунных поршневых колец. Предложен вариант усовершенствованной технологии изготовления поршневых колец и конструкция специального устройства для притирки пакета колец в сжатом состоянии, обеспечивающие повышение износостойкости чугунных поршневых колец.

Ключевые слова: технологические факторы, химический состав, механические свойства, чугун, параметров качества поверхностного слоя, износостойкость.

Поршневые кольца являются деталями двигателей внутреннего сгорания, которые, как правило, определяют надёжность и долговечность всей энергоустановки. Повышенное внимание к этим деталям определяется в настоящее время ростом требований к удельным мощностям и экономическим показателям д.в.с.

Поршневые кольца представляют собой криволинейные плоские пружины, сжатые до небольшого зазора между концами и принимающие в упругом состоянии форму окружности цилиндра двигателя. Они свободно располагаются в канавке поршня, плотно прилегая образующей к поверхности цилиндра, а одним из торцов - к плоскости канавки поршня и выполняют следующие функции:

- 1) обеспечивать необходимое динамическое уплотнение камеры сгорания при возможно минимальных потерях на трение;
- 2) отвод части тепла от поршня;
- 3) распределение смазки между трущимися поверхностями цилиндропоршневой группы и отвод излишек масла в картер двигателя.

Уплотнение камеры сгорания - основная функция поршневых колец. В конце такта сжатия рабочей смеси давление в современных карбюраторных двигателях достигает 1,6 МПа, а в дизельных - 3-4 МПа.

В зависимости от типа двигателя, его скоростных характеристик и развиваемой мощности в практике двигателестроения существует множество видов эпор радиальных давлений кольца на стенку цилиндра, но для подавляющего большинства быстроходных автомобильных и тракторных двигателей предпочитают грушевидную эпору с коррекцией давления у замка по отношению к среднему давлению в пределах 1,4-1,8.

Получение заданной эпоры радиальных давлений обеспечивается соответствующим технологическим процессом. Так, формирование грушевидной эпоры радиальных давлений чугунных поршневых колец происходит в результате реализации определенной последовательности технологических операций. Несмотря на массовый характер производства поршневых колец, обуславливающий применение специального станочного оборудования и оснастки, эпоры радиальных давлений могут в значительной степени отличаться от изделия к изделию. Это может быть связано как с нестабильностью механических свойств чугуна при различных плавках, так и с серьезными искажениями "запрограммированной" эпоры в процессе механической обработки. Очевидно, в процессе технологического воздействия на рабочие поверхности поршневого кольца эта деталь, имеющая очень малую собственную жёсткость, будет чутко реагировать на напряженное состояние металла поверхностного слоя, что необходимо учитывать при оценке функциональных свойств поршневых колец двигателей внутреннего сгорания.

Из теории тепловых двигателей [1] известно, что действительное радиальное давление P_ϕ кольца, вставленного в цилиндр номинального диаметра, действующее на окружности и отнесенное к единице площади рабочей поверхности прилегания распределяется, как правило, неравномерно по всей окружности и на разных участках различно.

Подобная ситуация возникает по причине нестабильности физико-механических свойств чугунов, погрешностей механической обработки, степени деформации поверхностного слоя и технологических остаточных напряжений.

Значение радиального давления в каждой точке контакта "кольцо-цилиндр" может быть определено по формуле:

$$P_\phi = P + PK \left[\frac{1}{2} (\alpha^2 + \sin^2 \alpha + 2 \cos \alpha (1 + \cos \alpha)) \right],$$

$$K = \frac{P \cdot r^3 \cdot h}{E \cdot J},$$

где P – фактическое радиальное давление на стенку цилиндра;

r и h – радиус и высота кольца соответственно;

E – модуль упругости;

J – момент инерции сечения кольца.

Величину P на практике определяют экспериментально и затем рассчитывают по формуле:

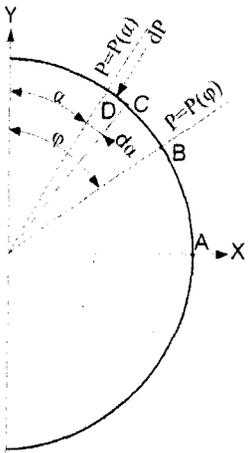
$$P = \frac{\kappa_l \cdot Q}{t \cdot h \left(\frac{D}{t} - 1 \right)} \quad [\text{МПа}],$$

где t – толщина кольца;

κ_l – коэффициент, зависящий от метода измерения Q (Н);

D – диаметр цилиндра.

Схема расчета поршневого кольца представлена на рисунке 1



Как следует из приведенных зависимостей, кроме геометрических параметров кольца важнейшим фактором, определяющим его упругость, является модуль упругости материала, который в свою очередь, определяется его химсоставом, способом плавки, температурой заливки, маркой модификаторов, выдержкой в форме и видом охлаждения.

В данной работе исследовали влияние структуры чугунов с различной формой графита на физико-механические и эксплуатационные свойства автотракторных поршневых колец диаметром 150 мм. Чугун выплавляли в печи ИЧТ-1,0 на шихте из передельного чугуна ПВК-1, возврата и стального лома, перегревали при температуре 1480-1500°C, заливали при 1360-1390°C в сухие формы из стержней. Заготовки для поршневых колец в виде маслот выдерживали в форме 10 мин и охлаждали на воздухе.

Для изготовления колец были выбраны комплексно-легированные чугуны (таблица 1): серийный серый чугун с пластинчатым графитом (ЧПГ); высокопрочный чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ), полученный на основе модифицирования расплава лигатурой СИИТМИШ-1 и высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ЧШГ), полученный обработкой расплава лигатурой ЖКМК-4Р.

Таблица 1- Химический состав исследуемых марок чугуна

Марка чугуна	Химический состав чугуна, %									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg
ЧПГ	3,17	1,66	1,38	0,024	0,340	0,30	0,48	-	-	-
ЧВГ	3,24	2,29	1,17	0,007	0,073	0,38	1,38	0,70	0,43	-
ЧШГ	3,29	2,75	1,35	0,007	0,081	0,36	1,33	0,66	0,44	0,06

В таблице 2 приведены сравнительные физико-механические свойства исследованных чугунов.

Таблица 2- Механические свойства исследуемых чугунов

Показатель	ЧПГ	ЧВГ	ЧШГ
Металлическая основа, %:			
Перлит	100	90	100
Феррит	-	10	-
Механические свойства:			
σ_b , МПа	365	575	780
σ_{-1} , МПа	128	167	186
E, МПа	156200	172000	178600
σ , %	0,3	1,4	3,0
НВ	269	269	285
Остаточная деформация колец, %	2,0-4,5	1,2-2,7	0,5-1,8

Из приведенных данных видно, что серийный ЧПГ имеет самый низкий уровень механических характеристик, но обладает в 2 раза большей теплопроводностью по сравнению с ЧШГ.

ЧВГ по уровню мехсвойств занимает среднее положение, а по теплопроводности приближается к ЧПГ и имеет более высокие упругие свойства.

Испытаниям на износ подвергали кольца, обработанные по одному и тому же технологическому процессу механической обработки, что исключало ее влияние на износ. В качестве материала контртела использовали гильзы из серийного хромоникелевого серого чугуна.

Сравнительные лабораторные испытания износостойкости колец на безмоторной установке, изготовленной на базе тракторного двигателя Т—180, в условиях граничного трения показали, что в приработочный период (5-10 ч) износ колец из ЧШГ в 1,8 раза меньше, чем у колец из ЧПГ и несколько выше износа колец из ЧВГ. В установившемся режиме трения износ поршневых колец из ЧШГ и ЧВГ имеет примерно одинаковые значения, которые в 1,5 раза меньше, чем у колец из ЧПГ. Это обусловлено тем, что поршневые кольца из ЧШГ и ЧВГ, обладая повышенными упругими свойствами, во время приработки приобретают заданную эпюру давления на стенку цилиндра. При этом кольца, контактирующие по большей поверхности с гильзой, улучшают уплотнение камеры сгорания и обеспечивают повышение экономичности ДВС.

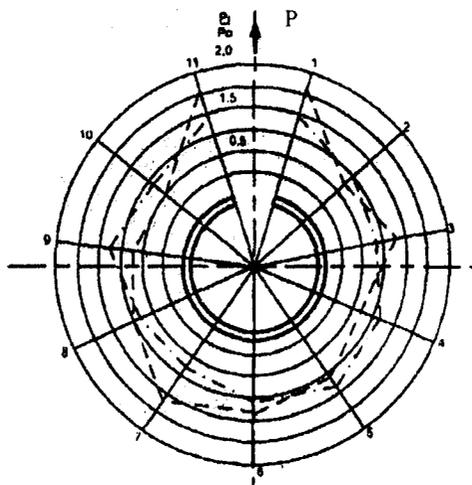


Рисунок 2 – Влияние энергетического состояния поверхностного слоя поршневых колец на характер эпюры радиальных давлений:
 ---- $I=107,3$; - - - $I=239,7$ (после притирки перед хромированием)

Учитывая более высокие технологические и особенно теплофизические свойства, а также высокую износостойкость высокопрочного ЧВГ, следует считать чугун более перспективным для изготовления поршневых колец ДВС.

На основании этих выводов влияние технологии изготовления на упругие свойства колец было решено проводить на кольцах из высокопрочного ЧВГ. Из физико-механических факторов, влияющих на упругие свойства колец следует, прежде всего, выделить наклеп металла поверхностного слоя и технологические остаточные напряжения первого рода.

Причем, если технологические остаточные напряжения в условиях эксплуатации при повышенных температурах довольно быстро релаксируют, то наклеп как реакция на пластическую деформацию, будет оказывать влияние в процессе довольно значительного периода работы поршневых колец. Для проверки данной гипотезы были исследованы 100 компрессионных колец $\varnothing 150$ мм, на которых определена радиальная эпюра давлений P по 11 точкам (рисунок 2) и затем измерен уровень экзоэмиссионного тока I , как комплексно оценивающий физико-механическое состояние поверхностного слоя и имеющий тесную корреляционную связь с характеристиками наклепа. Как видно из рисунка, наиболее близкую к теоретической форму эпюры радиальных давлений имеет у кольца с минимальной поверхностной энергией на рабочей цилиндрической поверхности. И наоборот, более искажена эпюра кольца с уровнем экзоэмиссии, имеющем максимальное среднее значение в исследованной выборке. Этот факт позволяет сделать вывод о целесообразности минимизации изменения фи-

зико-механических свойств поверхностного слоя для такой специфической детали, как поршневое кольцо.

Нестабильность уровня поверхностной экзоэмиссии, а, следовательно, и эпюры радиальных давлений даже в пределах одной партии обрабатываемых заготовок объясняется двумя основными причинами:

- 1) колебания припуска на обработку на копирной обточке;
- 2) прогрессирующий износ режущего инструмента в течение заданного периода стойкости в процессе копирного и чистового обтачивания.

Если первая причина носит случайный характер и при любом уровне технологии будет иметь место, то вторая, относящаяся к систематически действующим факторам, может быть и прогнозируема, и управляема.

Очевидно, что применение более износостойкого инструментального материала должно в определенной степени повысить стабильность физико-химических свойств поверхностного слоя. Для этой цели на рассматриваемой стадии изготовления поршневых колец были применены резцы из синтетического сверхтвердого материала марки композит 10. Результаты этих сравнительных экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3- Условия обработки и характеристики поверхностного слоя поршневых колец

Марка инструмента	Вид обработки	Условия обработки и характеристики поверхностного слоя						
		t, мм	S, мм/об	V, м/мин	г, мм	h ₃ , мм	l, с ⁻¹	U _н
BK6	Копирное обтачивание	2,0	0,18	40	0,11	0,44	339	1,27
	Чистовое обтачивание	0,6	0,10	51	0,84	0,36	282	1,21
Композит 10	Копирное обтачивание	2,0	0,18	40	0,09	0,12	168	1,16
	Чистовое обтачивание	0,6	0,10	80	0,81	0,08	123	1,12

Примечание: h₃ - износ резцов перед переналадкой станков

Анализируя приведенные данные, можно сказать, что применение резцов композита 10 дает значительно меньшие значения параметра I чем обработка твердым сплавом. Так, при копирном обтачивании экзоэмиссия меньше в 2 раза, а при чистовом - в 2,3 раза. Коэффициент степени наклепа соответственно равен U_н:

- для обработки резцами BK6 U_н = 1,21-1,27
- для обработки резцами из композита 10 U_н = 1,12-1,16

Подобный подход при учете явления технологической наследственности позволяет эффективно управлять физическими параметрами поверхностного слоя с целью минимального искажения заданной эпюры радиальных давлений [2].

В подавляющем большинстве случаев притирка как до хромирования, так и после осуществляется на хонинговальных станках. Инструментом на этой операции служит гильза, покрытая слоем искусственных алмазов. Пакет колец, набираясь в специальном стакане, вращается с частотой 15-20 об/мин и совершает возвратно-поступательные движения в гильзе со скоростью 5-8 м/мин.

К недостаткам этого метода относится то, что усилие хонингования распределяется по рабочей поверхности кольца не равномерно, а в соответствии со сформированной к данному этапу техпроцесса эпюрой радиальных давлений. Это неизбежно приводит к неравномерности съема припуска и искажает эпюру радиальных давлений. Более того, так как кольца на подвеске находятся в инструментальной гильзе в свободном состоянии, то для грушевидных эпюр радиальных давлений наиболее интенсивной обработке подвергаются участки рабочей поверхности колец у замка, что заведомо снижает их долговечность по причинам, рассмот-

ренным в начале статьи. Обработка же пакета колец в сжатом по торцам состоянии исключает преждевременный износ концов кольца, но имеет не менее существенный недостаток: не позволяет кольцу приработаться к цилиндру под действием собственных сил упругости, что в значительной степени увеличивает период приработки в процессе эксплуатации и уменьшает герметичность камеры сгорания двигателя.

Для исключения указанных недостатков была предложена конструкция специального устройства для притирки поршневых колец, обеспечивающая рабочую подачу пакета колец в сжатом состоянии и периодический его отпуск в верхней и нижней мертвых точках.

Анализируя данные этого эксперимента, можно утверждать, что как для компрессионных, так и для маслосъемных колец усовершенствованный технологический процесс их обработки обеспечивает значительное увеличение так называемых "беспросветных" колец (компрессионных с 20 до 32, маслосъемных с 21 до 30). Причем, это увеличение происходит в основном за счет соответствующего уменьшения количества колец, имеющих коэффициент просвета K_n от 5 до 10. Этот факт особенно важен, так как именно $K_n = 5\%$ для многих типов колец является предельно допустимым.

Испытания на износостойкость поршневых колец, изготовленных по различным технологическим маршрутам, проводились на специальном стенде, изготовленном на базе тракторного двигателя Т-180.

Во время испытаний на установке выполняется автоматическое соблюдение температуры масла, поступающего на смазку цилиндра, и температуры цилиндра. Температура масла контролируется сигнализирующим термометром ТОМ-100, включенным в качестве реле в сеть питания электронагревателя.

Многочисленные статистические данные [3,4] показывают, что доминирующей причиной выхода из строя поршневого кольца является его радиальный износ. В случае принятия допущения о равномерности износа по контуру его величина может быть определена с помощью выражения:

$$\Delta U = \frac{(S_2 - S_1)}{2\pi},$$

где S_1 - начальное значение раствора замка;

S_2 - конечное значение раствора замка.

Величины S_1 и S_2 определялись с помощью инструментального микроскопа в кольцекалибре $\varnothing 150H5$.

Кроме определения износа поршневого кольца по конечному раствору замка, износ также определялся в семи точках рабочей поверхности. Испытания проводились в условиях граничного трения в режиме капля масла МТ-16П на 500 м пути, длительность испытаний - 50 часов. Исследовалось одновременно два кольца, находившихся на одном поршне. В качестве объектов исследования были приняты компрессионные конусные кольца, стандартные параметры шероховатости поверхностей которых в результате обработки по обоим маршрутам ТП были следующие: $Ra=0,48-0,54$ мкм; $S_M = 0,056-0,062$ мм; $t_m = 51-55\%$. Контролем служила хонингованная чугунная гильза с $Ra=0,32$ мкм.

Износ колец по периметру, измеренный в семи точках после 50 часов испытаний, показывает его неоднородный характер. Наибольший износ наблюдается на концах колец у замка, т.е. на участках, имеющих наибольшее давление.

После исследования износа из этих же колец вырезались образцы на соответствующих участках для измерения уровня экзотока. Эти экспериментальные данные показывают общую тенденцию к увеличению поверхностной энергии на участках колец, имеющих наибольший износ. Что касается сравнения экзотока по периметру деталей, обработанных различными способами, то здесь какой-либо четкой закономерности не прослеживается, и разница в значениях по каждому из исследованных сечений соизмерима с погрешностями метода экзэмиссии.

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. Стечкин, Б.С. Теория тепловых двигателей [Текст] / Б.С.Стечкин. - М.: Физматиз, 2001. – 428 с.
2. Тотай, А.В. Технологическое обеспечение физических и эксплуатационных свойств поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.В. Тотай // Трение и износ. - 1997. -Том № 18. - №3. - С. 385-395.
3. Технология двигателестроения [Текст] / под ред. А.И. Дашенко. - М.: Высшая школа, 2006. - 607с.
4. Гюнтер, Г. Диагностика дизельных двигателей [Текст] / Г. Гюнтер. - М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. - 175с.

Тотай Анатолий Васильевич
Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «БЖДиХ»
E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Тихомиров Виктор Петрович
Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «ДМ»
E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Савин Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Профессор, д.т.н.
Тел. (4862)49-98-85
e-mail: savin@ostu.ru

A.V. TOTAY, V.P. TIKHOMIROV, L.A. SAVIN

TECHNOLOGY SUPPORT WEAR CAST IRON PISTON RINGS

We describe the influence of technological factors, chemical composition, mechanical properties of cast iron, the parameters of the quality of the surface layer on the wear resistance of cast iron piston rings. The analysis of the causes of reduction of wear-iron piston rings. A variant of the advanced technology fabrication of piston rings and the design of a special device for lapping rings in a condensed package of states that provide increased wear resistance of cast iron piston rings.

Keywords: *Keywords: technological factors, chemical composition, mechanical properties, cast iron, the parameters of the quality of the surface layer and wear resistance.*

BIBLIOGRAPHY

- [1]Stechkin, BS The theory of heat engines [Text] / B.S.Stechkin. - M.: Fizmatiz, 2001. – 428 p.
- [2]Toth, A. Technological provision of physical and performance properties of the surface layer of machine [Text] / A. Toth // Friction and wear. - 1997. Tom № 18. - № 3. - Pp. 385-395.
- [3]Engine technology [Text] / Ed. A. Dashchenko. - M.: High School, 2006. – 607 p.
- [4]Gunter, G. Diagnosis of Diesel Engine [Text] / G. Gunter. - Moscow: ZAO "KZHI" the wheel ", 2004. – 175 p.

Totay Anatoly
Bryansk State Technical University, Bryansk
Doctor of Technical Sciences, Head of Department "BZHDiH"
E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Tikhomirov Victor P.
Bryansk State Technical University, Bryansk
Doctor of Technical Sciences, Head of the "DM"
E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Savin Leonid Alekseevich
FSBEO HPE «State university – ESPC»
The professor, D.T.Sc.
Phone: (4862)49-98-85
E-mail: savin@ostu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 663.938.8

С.А. БЫКОВ, Р.В. ЩУЧКА, Е.А. СУЗДАЛЬСКАЯ

АНАЛИЗ И СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ НАСЫПНОГО СЛОЯ

Приведены результаты исследований по выявлению зависимости между динамической порозностью работающего аппарата, статистической порозностью, а также степенью заполнения аппарата. Представлена законченная математическая модель расчета порозности – важного гидродинамического параметра материала при фильтрации через него экстрагента. Разработана универсальная методика определения гидродинамических характеристик слоя материала, применимая для любых соответственным образом обработанных материалов и их смесей.

Ключевые слова: динамическая порозность, статистическая порозность, гидродинамические характеристики слоя материала

Гидродинамическая обстановка в массообменных аппаратах во многом определяется удельным заполнением аппарата экстрагируемым материалом и его свойствами, которые влияют на гидродинамическое сопротивление слоя в аппарате.

При определении эффективного гидравлического диаметра каналов во взвешенных слоях измельченного сырья необходимо учитывать гидравлическое сопротивление слоя материала, расход экстрагента в зависимости от времени, а также порозность измельченного материала.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАЗМЕРНОСТЕЙ К АНАЛИЗУ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ НАСЫПНОЙ СЛОЙ

Подробный анализ опубликованных работ по исследованию гидродинамичности насыпного слоя приводит к выводу, что взаимосвязь потери напора с физическими свойствами системы выражается общим уравнением:

$$\frac{q \Delta p d}{L \omega^2 \rho} = F_1 \left(\frac{dW \rho}{\mu} \right) F_2(\varepsilon) F_3(\varphi) F_4 \left(\frac{d}{D} \right) F_5 \left(\frac{l}{d} \right) F_6(\beta) \quad (1)$$

d – величина или группа величин, характеризующая линейные размеры слоя,

W – некоторая величина или группа характеризующая скорость, $F_1 \left(\frac{dW \rho}{\mu} \right)$ – безразмер-

ная группа, известная как критерий Re, $F_2(\varepsilon)$ – функция, характеризующая влияние пористости слоя, $F_3(\varphi)$ – влияние формы кусков, $F_4 \left(\frac{d}{D} \right)$ – влияние стенок аппарата, $F_5 \left(\frac{l}{d} \right)$ – влияние шероховатости частиц, $F_6(\beta)$ – влияние ориентации частиц. Исключение этих переменных приводит к упрощённому выражению:

$$\frac{q \Delta p d}{L \omega^2 \rho} = \phi \left(\frac{dW \rho}{\mu} \right) \quad (2)$$

$$f = \phi(\text{Re}) \quad (2a)$$

f – некоторый безразмерный параметр, названный фактором (коэффициентом) трения.

Влияние формы частиц $F_3(\varphi)$

Предлагаются следующие формулы, учитывающие влияние формы частиц:

$S_0 = \frac{6}{d}$ – для частиц сферической формы.

$S_0 = \frac{6}{d\varphi}$ – для частиц любой формы.

Лева предлагает коэффициент формы $\lambda = 0,205 \frac{A}{V^{2/3}}$,

где A – средняя поверхность частиц, V – её средний объем [7].

Д.К. Коллеров применил величину фактора $\varphi_3 = \frac{d_c^3}{d_c \times d_n^2}$ [3].

В уравнении, которое получил Роуз [9], на основе анализа размерностей член, учитывающий влияние формы – $F_3 \left(\frac{l_{\max}}{l_{\min}} + \frac{A_h}{A_s} \right)$, где l_{\max} – максимальный размер частиц, l_{\min} – минимальный размер, A_h – площадь поперечного сечения отверстий в частице (седла Берна), A_s – средняя площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярная оси отверстий.

Рассмотренный фактор формы показывает, что необходимость введения в расчетное уравнение факторов формы, с целью унификации опытных данных, появляется только в случае замены удельной поверхности на диаметр частиц. Одни авторы определяли диаметр как среднюю величину между размерами отверстий сит, на которых задерживались частицы d_c . По другому, за диаметр частицы принимается диаметр шара, объемом, равным фактическому объему частицы d_n , и, наконец, по третьему способу диаметр принимался как диаметр шара, поверхностью, равной фактической поверхности частицы d_{np} .

Влияние шероховатости частиц $F_5 \left(\frac{l}{d} \right)$

Специальные исследования влияния шероховатости частиц на сопротивление слоя проводил Лева [7]. Он также воспользовался данными Омана и Ватсона [8]. Исследованию подверглись слои частиц с различной степенью шероховатости. С относительно гладкой поверхностью принято стекло и цемент, более шероховатые – глина, алунд и еще более шероховатые – алоксит (минерал) и гранулы из окиси магнезия. Данные исследования Лева представил в виде общего уравнения потери напора:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{KW^{1,9} \mu^{0,1} \lambda^{1,1} (1-\varepsilon)}{g_c d_c^{1,1} \rho \varepsilon^3}$$

величина коэффициента K изменялась: для гладких час-

тиц $K=3,5$, для шероховатых $K=5,25$ и для очень шероховатых $K \approx 8$.

Броунель и Кац [5] воспользовались методом учета влияния шероховатости поверхности частиц посредством отношения $\frac{l}{d}$ и дали расчетную формулу в зависимости

$f = \phi(\text{Re})$. Величина $\frac{l}{d}$ является относительной высотой выступов на поверхности частиц, причем учет высоты выступов производится с весьма относительной точностью.

Ориентация частиц – $F_6(\beta)$

Если уравнение Козени-Кармана применить для двух различных типов упаковки с одинаковой величиной пористости, то:

$$\frac{\Delta p_1}{p} = \frac{L_{g1}/L}{L_g/L} = \frac{L_{g1}}{L_g} \quad (3)$$

$$\text{или } \frac{\Delta p}{L g} = \frac{\Delta p_1}{L g_1} = \frac{\Delta p_2}{L g_2} \quad (4)$$

Соотношение (4) показывает, что изменение сопротивления слоя с одинаковой пористостью при изменении ориентации частиц будет обратно пропорционально изменению фактической длины каналов, если не будет дополнительного влияния изменения поверхности частиц вследствие образования плоскостных контактов.

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{L g_1}{L g_2} \right)^n \quad (5)$$

при $n=1$ – вязкий поток; $n=2$ – чисто турбулентный; $1 < n < 2$ – промежуточная область.

Попытку более полно характеризовать гидравлическое сопротивление насыпного слоя на основании принципа анализа размерностей сделал Роуз [9].

Кроме пористости слоя ε и размера частиц d , Роуз дополнительно ввел параметры, характеризующие шероховатость поверхности частиц E , форму частиц, образующих слой Z , равномерность распределения частиц (ориентация) по сечению аппарата U . В этом случае общая зависимость приобретает вид:

$$H = \phi \left(W^\alpha, L^\beta, d^\gamma, \rho^\delta, D^l, \mu^\theta, g^r, \varepsilon^\lambda, E^\mu, Z^\sigma, U^w \right) \quad (6)$$

Преобразуя уравнение (6) в соответствии с принципами анализа размерностей (применяя систему МКС) получается общее уравнение для несжимаемых жидкостей в следующем виде:

$$\frac{H}{d} = \phi \left(\frac{W \rho d}{\mu} \right)^\theta \left(\frac{d g}{W^2} \right)^r \left(\frac{L}{d} \right)^\beta \left(\frac{D}{d} \right)^l \left(\frac{E}{d} \right)^\mu \varepsilon^\lambda Z^\sigma U^w \quad (6^a)$$

где $\frac{H}{d}$ – потеря напора, отнесенная к линейному размеру частицы.

Роуз экспериментально исследовал это уравнение. Первые его опыты были проведены со стальной калиброванной дробью одного размера. Применение частиц одинаковых размеров сферической формы с гладкой поверхностью исключала параметры E/d , Z и U . При этом исследуемая зависимость приобретала вид:

$$\frac{H}{d} = \phi \left(\frac{d W \rho}{\mu} \right)^\theta \left(\frac{d g}{W^2} \right)^r \left(\frac{L}{d} \right)^\beta F_1(\varepsilon) F_2 \left(\frac{D}{d} \right) \quad (7)$$

После такого обращения Роуз исследовал взаимосвязь $\frac{H}{d}$ с каждой группой в отдельности, сохраняя, по возможности, постоянство остальных групп. Опыты проводились при скоростях, при которых группа переменных $\frac{d g}{W^2}$ имела значение 1 при $r=0$. Для сферических частиц можно принять $\beta=1$. Это дало возможность установить соотношение

$\frac{H}{d} = \phi \left(\frac{W d \mu}{\mu} \right)$. Здесь выражение для диаметра частиц находилось из соотношения

$\frac{S}{V} = \frac{\text{Площ. шара}}{\text{Объем шара}}$ или $\frac{6 \pi d^2}{\pi d^3} = 6/d \Rightarrow d = \frac{6V}{S}$. В уравнение (7) член $F_2 \left(\frac{D}{d} \right)$ определяется

графически в виде $\frac{H}{d} = f \left(\frac{D}{d} \right)$; $\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = f \left(\frac{D}{d} \right)$; $\frac{H}{d} = \Delta p$.

В результате графической обработки большого количества экспериментов, данные, которые приводятся в [9], Роуз показал, что для ламинарного потока $f = \frac{c}{Re}$, при $c=100$.

В [9] Роуз уточнил уравнение и представил его в виде:

$$\frac{H}{d} = \phi \left(\frac{W^2}{d^*g} \right) \left(\frac{L}{d} \right) F_1(\varepsilon) F_2\left(\frac{D}{d}\right) F_3\left(\frac{l_{\max} + A_h}{l_{\min} + A_s}\right) \quad (8)$$

где, $F_3\left(\frac{l_{\max} + A_h}{l_{\min} + A_s}\right)$ – учитывает влияние формы частиц.

Путем обработки данных большого числа экспериментов Роуз показал, что с учетом всех переменных групп уравнения (8) фактор сопротивления слоя при движении несжимаемой жидкости является функцией числа Re. При $0 < Re < 100$ эта функция выражается:

$$\phi = \left[\frac{1000}{Re} + \frac{125}{\sqrt{Re}} + 14 \right] \quad (9).$$

При $Re > 100$:

$$\phi = \left[\frac{1000}{Re} + \frac{230}{\sqrt{Re}} + 16 \right] \quad (10).$$

(9) и (10) – эмпирические уравнения, выражающие зависимость $\frac{H}{d} = \phi(Re)$ и что

члены $\frac{125}{\sqrt{Re}}$ и $\frac{230}{\sqrt{Re}}$ – являются просто эмпирической поправкой.

Таким образом, работы Роуза показали, что, не смотря на учет многих гидродинамических параметров, метод анализа размерностей не дает уравнение, полностью характеризующего закономерности движения через насыпной слой, а приводит к эмпирическим уравнениям. Уравнения (9) и (10) не имеют преимуществ перед уравнениями других исследований.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЯ СМЕСИ ИЗМЕЛЬЧЁННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В предыдущих работах [1] автором была получена формула:

$$d_{\text{э}} = \Phi_1 \frac{1}{\sqrt{\varepsilon K}}, \quad (11)$$

для определения эквивалентного диаметра межпорового пространства слоя, где Φ_1 – безразмерная величина, зависящая от геометрических параметров экспериментальной установки и модельных тел; ε – порозность слоя; K – коэффициент отношения модели к реальному процессу. В том виде, в каком она записана выше, применять ее не представляется возможным, так как не определена порозность слоя материала. Итак, порозность слоя материала равна:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_H}{\rho} \quad (12),$$

где ρ_H – насыпная плотность материала, кг/м^3 ; ρ – плотность материала, кг/м^3 .

Насыпная плотность для измельченного материала определяется экспериментально по стандартной методике, путем определения массы 1 дм^3 материала. Плотность также определяется экспериментально с использованием микроскопа.

Предполагая, что в двухкомпонентной смеси растительные или грунтовые материалы распространены равномерно, для определения порозности такой смеси предлагается следующая формула:

$$\varepsilon_{\text{см}} = (1 - y)\varepsilon_1 + y\varepsilon_2 \quad (13)$$

где ε_1 – порозность слоя 1-го компонента; ε_2 – порозность слоя 2-го компонента; ε_{CM} – общая порозность смеси; y – концентрация 2-го компонента в смеси, кг/кг.

Уравнение (13) позволяют нам определить порозность двухкомпонентной смеси, например растительных или грунтовых материалов в абсолютно сухом виде, но в процессе фильтрации экстрагента через слой смеси материалов они таковыми не являются, поэтому необходимо внести поправку на поглощенную влагу. Для этой цели проводили опыты по определению насыпной плотности влажного измельченного материала по стандартной методике определением веса 1 дм³ влажного материала. Материал предварительно отмывали в ситах, затем сита оставляли на 20 минут в наклонном положении, считая таким образом, что убирается несвязная влага из материала.

Для определения по формуле (12) влажной порозности материала, необходимо теперь вычислить плотность влажных частиц каждого материала. Это предлагается сделать следующим образом. Используя исследования по влагопоглощению и набуханию частиц материала по следующей формуле:

$$\rho_{вл} = \frac{(m_{сух} q)}{(V_{сух} K_H)} \quad (14)$$

где q и K_H – соответственно коэффициенты влагопоглощения и набухания есть функции $q=f(\tau, t)$ и $K_H=f(\tau, t)$. Данные функциональные зависимости раскрываются экспериментально. Следовательно, порозность влажного материала будет определена из:

$$\varepsilon_{вл} = 1 - \frac{(\rho_{нвл} K_H)}{(\rho_{сух} q)} \quad (15)$$

Суммарная порозность влажной смеси материалов будет определяться по формуле (13).

Следует также отметить, что, проходя через слой материала, экстрагент вымывает из него растворимые вещества. Место растворимых веществ в материале занимает жидкость. Плотность же жидкости и материала различны, следовательно необходимо внести поправку на растворимые вещества. Это предлагается сделать следующим образом. Из [3] имеем уравнение для определения плотности экстракта в частице: $\rho = 1007,26 - 0,47t + 432,7C$ (16), где t – температура, град. С; C – концентрация экстрагента, % рефрактометр. Следовательно, поправка на растворимые вещества в материале будет иметь вид:

$$B = \frac{\rho}{\rho_{вл}} \quad (17)$$

а

$$\rho_{влицт} = B \rho_{вл} \quad (18)$$

где B – поправка на растворимые вещества в материале; ρ – плотность экстрагента в частице, кг/м³; $\rho_{вл}$ – плотность воды при t , равной температуре процесса, кг/м³; $\rho_{влицт}$ – плотность влажного материала с учетом поправки на растворимые вещества, кг/м³.

С учетом (17), (18) формула (15) приобретает вид:

$$\varepsilon_{вл} = 1 - \frac{(\rho_{нвл} K_H)}{(\rho_{сух} qB)} \quad (19)$$

или, обозначив за

$$E = \frac{K_H}{(qB)} \quad (20)$$

имеем

$$\varepsilon_{квл} = 1 - \frac{E \rho_{нвл}}{\rho_{сух}} \quad (21)$$

где E – поправочные коэффициенты, учитывающие влагопоглощение, набухание, а также выход растворимых веществ из частицы материала.

В процессе снятия гидродинамических зависимостей, мы приводим слой материала в аппарате во взвешенное состояние, чтобы рассматривать фильтрацию как частный случай движения жидкости через зернистый слой. Полученные же выше зависимости (19), (20), (21) характеризуют неподвижный слой в аппарате. Для устранения этого противоречия следует ввести такую величину как динамическую порозность $\varepsilon_{дин}$ материала, характеризующую долю свободного пространства взвешенного слоя в аппарате, а величинам порозности, полученным выше присвоить наименование статических.

Исходя из выше сказанного, необходимо определить зависимость между статической и динамической порозностями слоя материала. Имеем:

$$\varepsilon_{дин} = 1 - \frac{V}{V_{ндин}} \quad (22),$$

где $\varepsilon_{дин}$ – динамическая порозность слоя материала; V – объем, занимаемый самими частицами, образующими слой во влажном набухшем виде, $м^3$; $V_{ндин}$ – общий объем, занимаемый зернистым слоем при прохождении экстрагента, $м^3$.

Для работающего аппарата:

$$V_{ндин} = SH \quad (23),$$

где S – площадь поперечного сечения аппарата, $м^2$; H – высота аппарата, $м$. Определим влажный объем V из выражения:

$$\varepsilon_{вл} = 1 - \frac{V}{V_{нст}} \quad (24),$$

где $V_{нст}$ – общий объем, занимаемый влажным зернистым слоем в статическом состоянии, $м^3$. Из (14):

$$V = V_{нст} - \varepsilon_{вл} V_{нст} \quad (25)$$

Учитывая, что $V_{нст}$ зависит от φ – степени заполнения аппарата материалом, получаем: $V_{нст} = hS$ (26), где h – высота слоя для данного φ , $м$.

Подставляя (13), (15), (16) в (12) получаем:

$$\varepsilon_{дин} = 1 - \frac{hS - \varepsilon_{вл} hS}{HS} \quad (27)$$

или

$$\varepsilon_{дин} = 1 - \frac{h - \varepsilon_{вл} h}{H} \quad (28).$$

Записывая, что степень заполнения аппарата равна:

$$\varphi = \frac{h}{H} \quad (29).$$

Получаем (28), учитывая (29), в виде:

$$\varepsilon_{дин} = 1 - \varphi - \varepsilon_{вл} \varphi \quad (30).$$

Выражение (30) есть зависимость между динамической порозностью работающего аппарата и статической, а также степенью заполнения аппарата. Статическая порозность влажного материала, в зависимости от состава смеси, определяется по формулам (13) и (19).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Таким образом, системный анализ работ некоторых учёных показали, что не получено теоретическое уравнение, полностью характеризующего закономерности движения через насыпной слой. Результатом же исследований являются, в большей степени, эмпирические уравнения.

Одна из эмпирических моделей, являющаяся в некотором роде универсальной для различных соответственно обработанных смесей растительных материалов представлена в настоящей работе уравнениями (13), (19), (30).

Итак, выражения (13), (19), (30) представляют собой законченную математическую

модель расчета порозности – важного гидродинамического параметра слоя материала при фильтрации через него экстрагента.

Данная методика определения гидродинамических характеристик слоя материала – универсальна, применима для любых соответственным образом обработанных растительных или грунтовых материалов и их смесей.

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. Быков, С.А. А.С. 1709976 СССР, А23F 5/24. № 4719589/13 [Текст] / С.А. Быков, К.И. Виноградов [и др.] : Заявлено 17.07.89, опубл. 07.02.92. Бюл. № 5.
2. Быков, С.А. Исследование диффузионных и массообменных свойств смесей измельченных растительных материалов [Текст] : монография / С.А. Быков. – Елец: ЕГУ им. И. А. Бунина, 2010. - 196 с.
3. Виноградов, К.И. Разработка ступенчатого способа непрерывного получения экстракта из обжаренного кофе [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1987.
4. Колеров, Д.К. Гидродинамика паровой среды [Текст] / Д.К. Колеров // Ж. хим. пр-ть. – 1959. - № 2, с. 163.
5. Brownell and Katz, D.L. Chem. Eng. Progress [Text] / D.L. Brownell and Katz. – 1947. - v. 43. - p. 537.
6. Kozeny, I. Siz. Ber. Acad. Wiss [Text] / I. Kozeny. - Wein Abt, 1927, v. 136, p. 271.
7. Lewa, M. Chem. Eng. Progress [Text] / M. Lewa. – 1947. - v. 43. - №10. - p. 549.
8. Oman, A.A. Nat. Petr. Neuws. [Text] / A.A. Oman, K.M. Watson, 1944. - v. 36. - №44. - p. 795.
9. Rose, H.E. Inst. Mech. Eng. [Text] / H.E. Rose. – London: 1949. - v. 16 - №4. - p. 141.

Быков Сергей Анатольевич
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец
Кандидат сельскохозяйственных наук наук
Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
телефон с указанием кода города: 89058552287
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Щучка Роман Викторович
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец
Кандидат технических наук
Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Суздальская Ева Анатольевна
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец
Старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

S.A. BYKOV, R.V. SHCHUCHKA, E.A. SUZDALSKAJ

ANALYSIS AND SYSTEMS CALCULATING OF THE MATHEMATIC MODEL OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF A LAYER OF CRUSHED MATERIALS MIXTURE

The article presents the results of research work on finding out the interdependence between the dynamic separation of the working apparatus (machine), statistic separation and the degree of filling the apparatus (machine). The final mathematic model of calculating separation - an important hydrodynamic parameter of a layer of material while extragent is being filtrated through it. The authors worked out a universal method of defining hydrodynamic characteristics of a layer of material, which can be applied to any materials and their mixtures worked up as required.

Keywords: *the dynamic separation, statistic separation, the hydrodynamic characteristics of a layer of material*

BIBLIOGRAPHY

- [1] Bykov, S.A., A.C.(patent) 1709976 USSR. A23F 5/24. № 4719589/13 [Text] : S.A Bykov, K.I. Vinogradov, [ets.] Declare 17.07.89, publish. 07.02.92. Bulletin № 5.

- [2] Bykov, S.A. Investigation of diffusion and mass-exchange of the property of shredded vegetable raw materials mixture [Text] : monograph / S.A. Bykov - Elets: ESU n. I.A.Bunins, 2010. - 196 p.
- [3] Vinogradov, K.I. Elaboration of the stage method of continuous receipt of the extract from of the roast coffee [Text] : Dissertation... Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Moscow: 1987. - 282 p.
- [4] Kollerov, D.K. Hydrodynamic of the steamy environment [Text] / D.K. Kollerov // J., Chem. Ind. 1959, № 2, P. 163.
- [5] Brownell and Katz, D.L. Chem. Eng. Progress [Text] / D.L. Brownell and Katz. - 1947. - v. 43. - p. 537.
- [6] Kozeny, I. Siz. Ber. Acad. Wiss [Text] / I. Kozeny. - Wein Abt, 1927, v. 136, p. 271.
- [7] Lewa, M. Chem. Eng. Progress [Text] / M. Lewa. - 1947. - v. 43. - №10. - p. 549.
- [8] Oman, A.A. Nat. Petr. Neuws. [Text] / A.A. Oman, K.M. Watson, 1944. - v. 36. - №44. - p. 795.
- [9] Rose, H.E. Inst. Mech. Eng. [Text] / H.E. Rose. - London: 1949. - v. 16 - №4. - p. 141.

Sergei Anatolievich Bykov
 Candidate of Science (Engineering),
 Associate Professor
 Elets, Lipetsk Region
 Phone: 89058552287
 E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Roman Viktorovich Shchuchka
 Candidate of Science (Agriculture),
 Associate Professor
 Elets, Lipetsk Region
 Phone: 89058552287
 E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Eva Anatolievna Suzdalskaya
 Senior Lecturer
 Elets, Lipetsk Region
 Phone: 89058552287
 E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

УДК 639.2/3.001.5

А.А. НЕДОСТУП, А.А. ПАВЛЕНКО, А.О. РАЖЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТНОГО ПОЛОТНА, ЗАКРЕПЛЕННОГО К ОБРУЧУ

Разработан алгоритм расчета сил натяжения в сети, закрепленной к обручу. На графиках изображены 3D формы сетей, закрепленные на верхнем обруче. Цветовой спектр отображает величины силы натяжения в нитках. Разработана компьютерная программа расчета силовых и геометрических характеристик сети, прикрепленной к обручу.

Ключевые слова: сетное полотно, математическая модель, 3D форма сети, компьютерная программа

В настоящее время все большее внимание уделяется дискретным моделям, которые применяются при моделировании и проектировании современной техники. Проектирование сложных объектов, например, сетных орудий рыболовства и многих других требует проведения колоссальных объемов вычислений, так как сетная часть состоит из огромного количества ячей. Следует отметить, что дискретные модели применяются для построения 3D трехмерных инженерных сооружений - орудий рыболовства [1-5]. Наличие актуальной трехмерной модели, интегрированной с данными внешней среды и эксплуатационными параметрами позволяет проводить различные инженерные расчеты характеристик орудий и процессов рыболовства, таких, как например, расчет на прочность, гидродинамические расчеты, расчеты времени эксплуатации и т.д. Применение таких подходов будет способствовать переходу от системы плано-предупредительной к считающейся в настоящее время наиболее эффективной системе обслуживания по состоянию. Таким образом, применение трехмерных орудий рыболовства совместно с верификационными расчетами позволит инженерам по промышленному рыболовству осуществлять более точное прогнозирование и обеспечит инструментальную базу для внедрения современных подходов к управлению и эксплуатации орудиями рыболовства.

Решение связанных задач определения напряженности, сил натяжения в элементах орудий рыболовства и динамики напряженно-деформированного состояния в трехмерных расчетных программах невозможно без использования дискретных моделей - 3D. Разработка компьютерных моделей/программ орудий рыболовства или его отдельных элементов в этой связи является приоритетной задачей промышленного рыболовства [6,7]. Численные эксперименты на компьютерных моделях с применением методов вычислительной гидромеханики

или использования простых эмпирических зависимостей позволяют без проведения дорогостоящих физических экспериментов получать достоверную информацию об условиях работы наиболее напряженных элементов/узлов орудий рыболовства. Такой подход возможен только при условии верификации применяемых зависимостей и разрабатываемых алгоритмов расчетов на отдельных физических моделях. Применение современных компьютерных технологий на стадии проектирования является неотъемлемым условием успешной эксплуатации орудий рыболовства. Внедрение 3D - моделирования в процессы жизненного цикла орудий рыболовства позволяет не только выполнить расчеты и проекты на качественно новом уровне, но и обеспечивает эффективное управление сложных инженерных сооружений - орудий рыболовства на этапе эксплуатации.

Для практических задач довольно редко удается найти аналитическое решение уравнений, составляющих математическую модель явления. Поэтому приходится применять численные методы. Сущность применения численных методов рассмотрим на схеме вычислительного эксперимента, показанной на рисунке 1. Основу вычислительного эксперимента составляет триада: модель - метод (алгоритм) - программа. Проблемой определения силы натяжения в нитках сети и формой сети занимались многие ученые [8-18]. В настоящей работе применяются алгоритмы, разработанные авторами. Цель настоящих исследований - применение дискретной модели для расчета силовых и геометрических характеристик сети, закрепленной на обруче (рисунок 2).

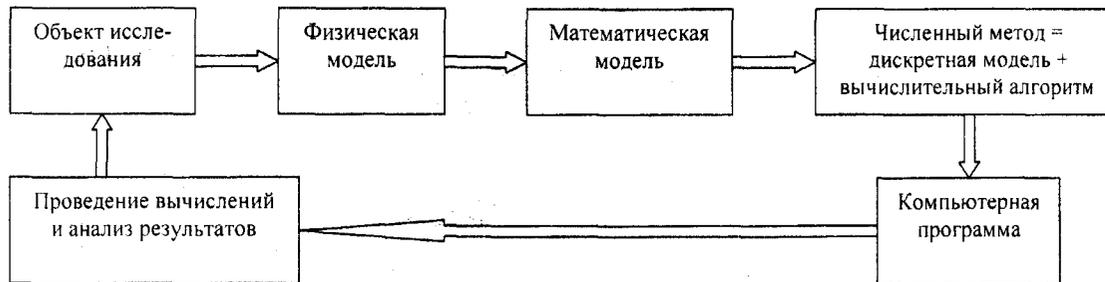


Рисунок 1 - Схема вычислительного эксперимента

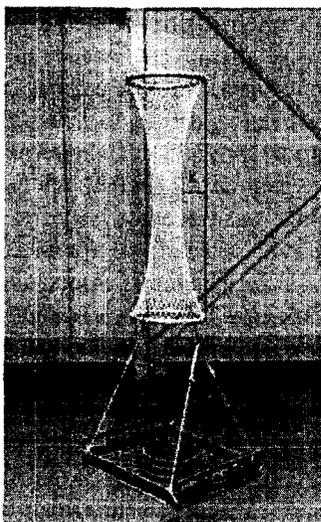


Рисунок 2 - Сеть, закрепленная на двух обручах с грузом вне сети

Рассмотрим три случая:
- сеть закреплена на двух обручах;

- сеть закреплена на одном обруче;
- сеть закреплена на одном обруче с грузом внутри ее.

Сеть закреплена на двух обручах. Сеть, посаженная на обручи имеет переменный шаг ячей a , а нить сети обладает определенным модулем упругости E , значение которого известно. На рисунке 3 изображены оси координат системы.

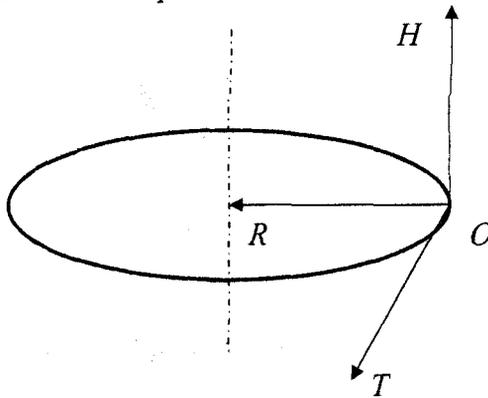


Рисунок 3 - Оси координат системы

OR - радиальная, направлена от точки окружности к ее центру; OH - осевая, направлена вверх параллельно оси; OT - касательная, параллельна касательной, проходящей через точку окружности

Приведем математические модели, связывающие геометрические характеристики ячей сети

$$a_R = R_i \cos \frac{\pi}{n} - R_{i+1}, \quad (1)$$

$$a_{T_i} = R_i \sin \frac{\pi}{n}, \quad (2)$$

$$a_i^2 = a_0^2 \left(1 + \frac{4T_i}{\pi E d^2} \right), \quad (3)$$

$$a_i^2 = a_{T_i}^2 + a_{H_i}^2 + a_R^2, \quad (4)$$

где a_0 - длина нити i -того ряда до деформации; a_i - длина нити i -того ряда после деформации; a_R, a_{H_i}, a_{T_i} - проекции нити на оси; R_i - радиус описывающей окружности i -го ряда (координата R); n - количество ячеек по окружности; i - номер ряда, $i = [0 \dots 2m]$, где m - количество ячеек по высоте; E - модуль упругости нитки; d - диаметр нитки; T_i - сила натяжения нити i -го ряда.

Зависимости, связывающие силовые характеристики ячеек сети по оси OH :

$$F_{H_i} = 2T_i \frac{a_{H_i}}{a_i} - \left(\frac{G}{n} + 2 \sum_{j=0}^{i-1} q_j \right) = 0, \quad (5)$$

$$T_i \frac{a_{H_i}}{a_i} = T_{i+1} \frac{a_{H_{i+1}}}{a_{i+1}}, \quad (6)$$

по оси OR :

$$T_i \frac{a_R}{a_i} = T_{i+1} \frac{R_{i+1} - R_{i+2} \cos \frac{\pi}{n}}{a_{i+1}}, \quad (7)$$

где G - вес нижнего обруча с грузом или вес загрузки (для случая без нижнего обруча); q_j - вес нити j -го ряда; F_{H_i} - осевая проекция результирующей силы, приложенной к узлу i -го ряда.

Составим систему уравнений при искомым неизвестных: $R_1, \dots, R_{2m-1}, a_{H_0}, \dots, a_{H_{2m-1}}, T_0, \dots, T_{2m-1}$. Для сети получаем $6m-1$ неизвестных. Подставляя (1) - (3) в (4) получаем одно уравнение, связывающее геометрические характеристики (для каждого ряда). Для сети получаем $2m$ таких уравнений. Подставляя (6) в (5) получаем одно уравнение, связывающее осевые силовые характеристики (для каждого ряда) и одно уравнение (7), связывающее радиальные силовые характеристики, для каждого ряда, кроме верхнего). Для сети получаем $4m-1$ таких уравнений. В результате получаем систему из $6m-1$ уравнений с $6m-1$ неизвестными.

Зная для каждого ряда R по формулам (1) и (2) находим a_T и a_R . Приведем результаты численного моделирование сети, закрепленной на двух обручах. На рисунке 4 изображены 3D формы сетей, закрепленные на двух обручах. Спектр цвета на рисунке 4 отображает силу натяжения в нитках.

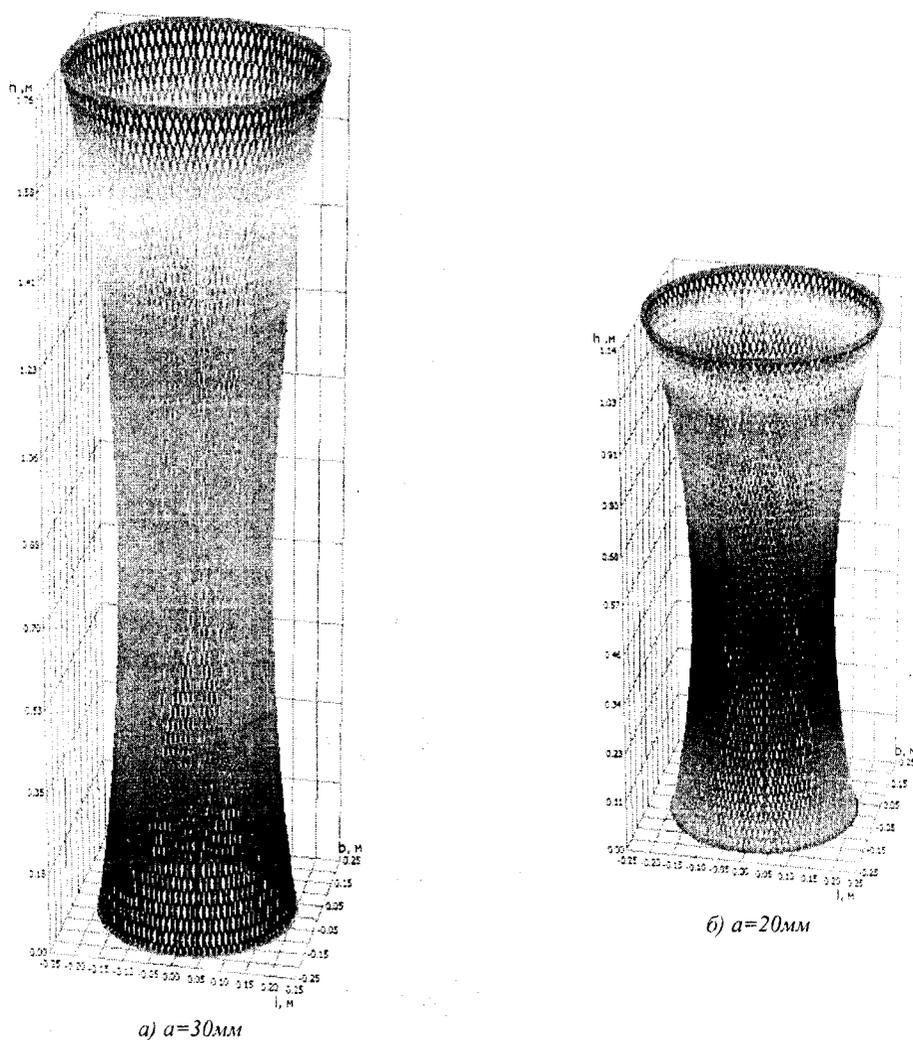


Рисунок 4 - 3D форма сетей, закрепленных на двух обручах
 $q=0,0006H$; $d=0,61\text{мм}$; $E=1,1\text{ГПа}$; $D_1=0,5\text{м}$ - диаметр верхнего обруча; $D_2=0,4\text{м}$ - диаметр нижнего обруча; $n=100\text{яч}$; $m=30\text{яч}$; $G=50H$

СЕТЬ ЗАКРЕПЛЕНА НА ВЕРХНЕМ ОБРУЧЕ

Добавим одно неизвестное R_0 и одно уравнение, определяющую радиальную проекцию нити, равную 0:

$$R_0 \cos \frac{\pi}{n} = R_1. \tag{8}$$

Приведем результаты численного моделирование сети, закрепленной на одном верхнем обруче. На рисунке 5 изображены 3D формы сетей, закрепленные на верхнем обруче при условии - $q=0,0006Н$; $d=0,61мм$; $E=1,1ГПа$; $D_1=1,0м$ - диаметр верхнего обруча; $D_2=0,5м$ - диаметр нижнего обруча; $n=100$ яч; $m=20$ яч; $G=500Н$, $a=(100\div 20)мм$ и $a=(100\div 10)мм$.

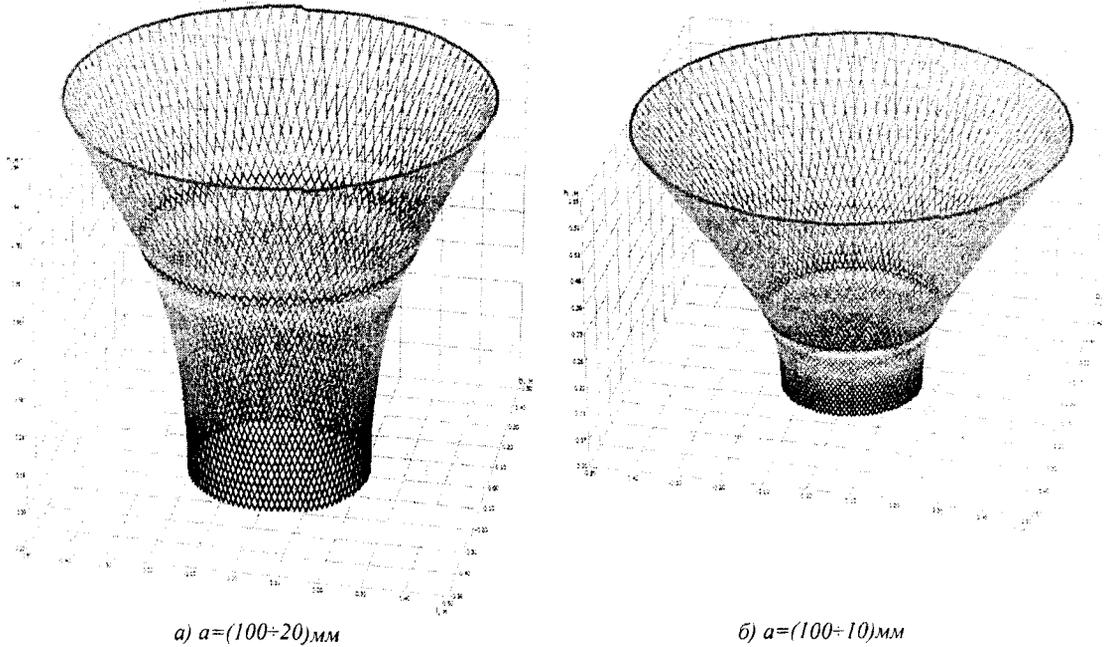


Рисунок 5 - 3D форма сетей, закрепленных на верхнем обруче

$q=0,0006Н$; $d=0,61мм$; $E=1,1ГПа$; $D_1=1,0м$ - диаметр верхнего обруча; $n=100$ яч; $m=20$ яч; $G=500Н$

СЕТЬ ЗАКРЕПЛЕНА НА ОДНОМ ОБРУЧЕ С ГРУЗОМ ВНУТРИ НЕЕ

Расчет объема груза. Возьмем за исходный алгоритм с двумя обручами при $R_0 = 0$ (сеть связана снизу). При этом G - масса груза. Добавим одно неизвестное H_c - высота груза и одно уравнение:

$$V = V_c, \tag{9}$$

где V - объем груза (входной параметр), V_c - объем груза, вычисляемый исходя из геометрии.

$$V_c = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{k-1} a_H (S_i + \sqrt{S_i S_{i+1}} + S_{i+1}) + \frac{1}{3} (S_k + \sqrt{S_k S_c} + S_c) (H_c - H_k), \tag{10}$$

где S_i - площадь сечения i -го ряда, S_{i+1} - площадь сечения $i+1$ -го ряда, k - номер ряда, на котором заканчивается груз, S_k - площадь сечения k -го ряда, S_c - площадь сечения на уровне H_c , H_k - высота ряда k .

Для расчета используется формула объема правильной усеченной пирамиды. Площадь сечения S_i определяется по формуле расчета площади вписанного правильного многоугольника:

$$S_i = \frac{n}{2} R_i^2 \sin \frac{2\pi}{n} \quad (11)$$

Расчет распорной силы. Введем понятие распорной силы F_c , образованной давлением груза. Обозначим F_{eH} и F_{eR} проекции распорной силы на оси OH и OR . Изменим уравнение (7) на:

$$T_i \frac{a_{R_i}}{a_i} - T_{i+1} \frac{R_{i+1} - R_{i+2} \cos \frac{\pi}{n}}{a_{i+1}} = F_{eR} \quad (12)$$

Для ряда $i = 0$

$$F_{eR_0} = 0 \quad (13)$$

Для рядов $i = [1 \dots m - 1]$

$$F_{eR_i} = \frac{P_i}{4} \left(S_{n_i} \frac{a_{H_i}}{a_i} + S_{n_{i-1}} \frac{a_{H_{i-1}}}{a_{i-1}} \right) \quad (14)$$

где P_i - давление груза на уровне i -го ряда, S_{n_i} - площадь одной секции i -го ряда.

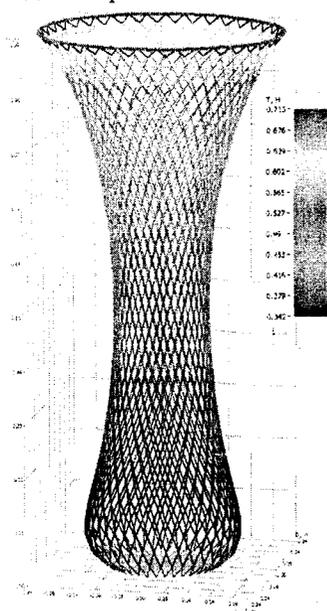
$$\rho_i = \rho_0 e^{kP_{i-1}}, \quad P_0 = 0, \quad (15)$$

$$P_i = \rho_i g (H_c - H_i), \quad (16)$$

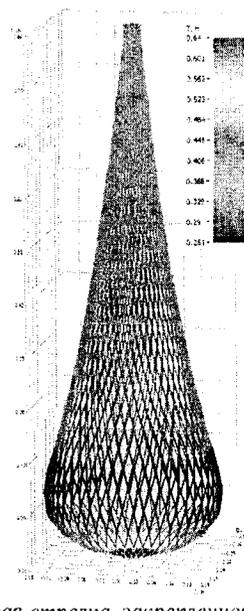
где k - коэффициент объемного расширения груза.

$$S_{n_i} = (R_i + R_{i+1}) \sqrt{a_i^2 - a_{T_i}^2} \sin \frac{\pi}{n} \quad (17)$$

На рисунке 6 изображены 3D формы грузовой сетки, закрепленные на верхнем обруче, разного диаметра.



а) грузовая стрелка, закрепленная на обруче, $a=30\text{мм}$, $q=0,0006\text{Н}$; $d=0,61\text{мм}$; $E=1,1\text{ГПа}$; $D_1=0,5\text{м}$ - диаметр верхнего обруча; $n=40\text{яч}$; $m=20\text{яч}$; $G=30\text{Н}$, $V=0,03\text{м}^3$



б) грузовая стрелка, закрепленная на обруче, $a=30\text{мм}$, $q=0,0006\text{Н}$; $d=0,61\text{мм}$; $E=1,1\text{ГПа}$; $D_1=0,025\text{м}$ - диаметр верхнего обруча; $n=50\text{яч}$; $m=15\text{яч}$; $G=30\text{Н}$, $V=0,01\text{м}^3$

Рисунок 6 - 3D форма грузовой сетки

По итогам выполненных исследований, разработаны алгоритмы и методы расчета силовых и геометрических характеристик сети для трех случаев: сеть закреплена на двух обру-

чай; сеть закреплена на одном обруче и сеть закреплена на одном обруче с грузом внутри ее (1) - (17). На основании алгоритмов создана компьютерная программа (рисунок 7), на рисунке 8 приводятся выходные расчетные параметры.

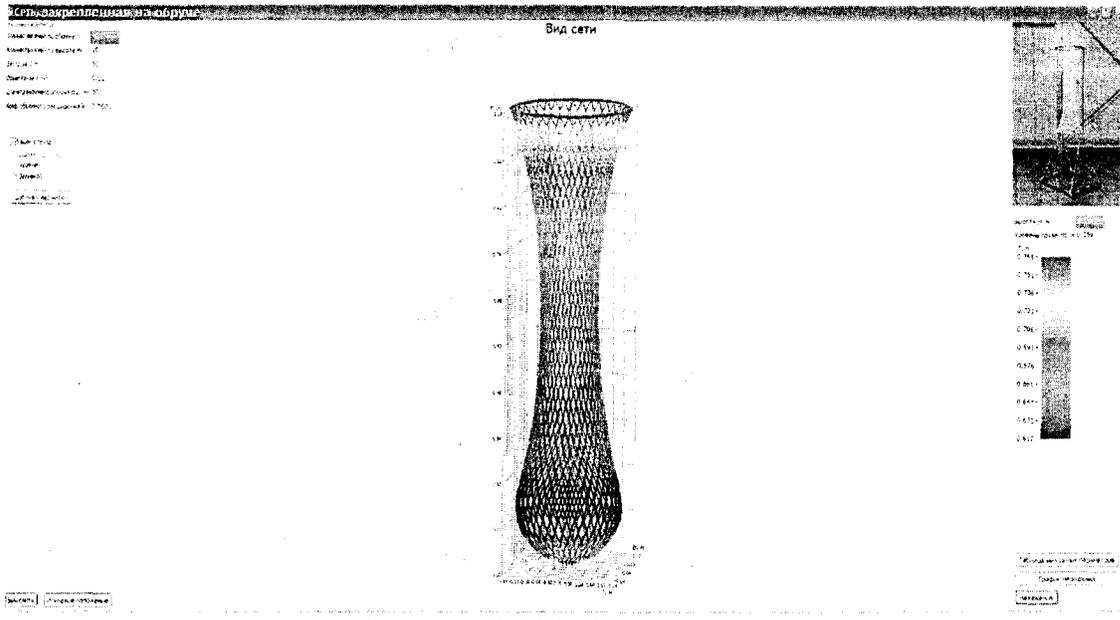


Рисунок 7 - Компьютерная программа «Сеть, закрепленная на обруче»

Таблица выходных параметров														
№	Диаметр обруча, м	Габаритная площадь КВН1, м²	Вертикальная проекция КВН1, м	Натяжение в члках, Т, Н	Шаг, мм, м	Посадочный коэффициент Цх	Посадочный коэффициент Цу	Угол раскрытия ячеек, °	Плотность груза, кг/м²					
6	9.21768	1370.24249	21.54745	20085822	0.754335304	13665	30.670395265	0.367678307	958045	0.9299530	4252327	21.5785035	41133	0
16	26.44216	4174466	6.58142	424352428	0.737167697	170576	30.068790210	0.346335402	1270689	0.938499324	181377	20.202721	46227	0
18	246.62958	4530494	7.95605	21449866	0.722174440	836399	30.047448390	0.324698187	181193	0.945817135	19174	18.94735	13766	158
17	214.07806	503255	7.28574	4111938	0.710883627	76071	30.066512318	0.305731705	51261	0.951177050	32637	17.80219	47053	88
20	220.75101	109264	6.84313	736592742	0.700295570	653817	30.066532228	0.289387579	59441	0.957513761	32894	16.76447	23695	8
15	20.87121	106304	6.03852	10711959	0.691585558	251218	30.064536885	0.272617046	48195	0.962112625	23123	15.81005	589	47837
14	19.77897	1165589	5.45657	1589572	0.681316203	183015	30.063842065	0.258368420	76307	0.966046457	25264	14.97327	14269	26
13	188.01420	1305815	4.89121	1913987695	0.677749582	15826	30.063247970	0.245590061	494884	0.969373778	113963	14.21670	720	1982
12	178.31120	1545453	4.31918	16588018117	0.673994758	73159	30.062738141	0.234231897	129555	0.972140739	58383	13.54625	67476	37
11	171.66757	1320735	3.82331	16223579	0.667585127	74749	30.062299659	0.224246651	145788	0.974932420	70828	12.95830	251	15679
10	165.03915	1319283	3.21421	1251345386	0.663556194	102739	30.061820875	0.215560767	1139	0.976483806	2876	12.45018	52	35671
9	159.36828	19562727	2.82011	1967555153	0.660099774	78065	30.061892720	0.208279082	10969	0.978050933	583461	12.03359	128	921
8	154.72032	147951	2.33228	2068282	0.656934185	49755	30.061307490	0.202115467	187043	0.979361693	232599	11.65063	126	1171
7	150.76169	19572189	1.86935	1485972	0.654288376	487459	30.061058791	0.197283116	106617	0.9803568	172177	11.37820	56	35849
6	145.16497	1282587	1.40938	1473102	0.651557299	21651	30.060831258	0.193554958	336627	0.981038943	436126	11.16032	6	14054
5	140.15136	200102	0.95791	228280969	0.648912324	749003	30.060658195	0.191063073	550646	0.981577603	80209	11.01487	14747	2
4	134.14973	161833	0.53782	2917502356	0.646113560	373784	30.060423546	0.187409251	28335	0.982382807	61217	10.93813	50	139708
3	128.12918	1486997	0.05272	29490198578	0.643578289	479006	30.060234522	0.184905428	16426	0.983286368	70759	10.82978	20	7407
22	116.97809	153441	0.29385	173419979	0.641512764	43014732	30.060209860	0.182637909	48079	0.984669286	18432	10.69986	24	47365
21	117.61810	9067083	0.84635	155609704	0.638930171	194782	30.060089447	0.180487089	186095	0.985128693	40033	11.11898	40	85184
20	180.22041	7892787	1.30450	44628672	0.642797574	49479	30.059986459	0.178256116	532202	0.985512869	196872	11.21251	117	165735
19	152.77201	18421359	1.77100	71428577	0.641823914	20271	30.059885695	0.176084718	881315	0.979614888	884154	11.58269	66	27747
18	153.28799	1291272	2.14928	2395654	0.640828958	585224	30.059817611	0.176262414	119251	0.978391151	152605	11.97265	58	91949
17	161.79507	1122446	2.71464	4658721	0.640232801	190786	30.059748917	0.174926129	243235	0.9768489	42054794	12.35125	193	1515
16	170.35474	164853	3.25086	741154186	0.639618816	478556	30.059509817	0.174200389	496465	0.97495035	405691	12.85123	40	15822
15	177.31515	444824	3.78026	14463728	0.639035821	795667	30.059679865	0.173297686	122167	0.9726447	37312801	13.43238	29	72016

Рисунок 8 - Выходные расчетные параметры компьютерной программы «Сеть, закрепленная на обруче»

Используя вышеприведенную компьютерную программу «Сеть, закрепленная на обруче», возможно, исследовать различные параметры грузовых сеток и др.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-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. Lee, C.W. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation [Text] / C.W. Lee, etc. // Ocean engineering. - 2005. - №32. - Pp. 331-347.
2. Lee, C.W. Development of a design and simulation tool for the moored underwater flexible system [Text] / C.W. Lee, [etc] // 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2007. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources. Taylor and Francis. London. - 2007. - Pp. 935-939.
3. Недоступ, А.А. Обоснование метода расчета сетных орудий рыболовства на основании дискретной модели [Текст] / А.А. Недоступ // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники российской Федерации Фридмана Александра Львовича и 95-летию со дня основания кафедры промышленного рыболовства. Калининград. / Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. - С. 266-275.
4. Недоступ, А.А. Дискретная модель рыболовной сети [Текст] / А.А. Недоступ // Известия КГТУ. - №18. - 2010. - С. 255-261.
5. Недоступ, А.А., Полозков А.В. Математическое моделирование процесса погружения стенки кошелькового невода [Текст] / А.А. Недоступ // Рыбное хозяйство. - №3. - 2011. - С. 100-102.
6. Недоступ, А.А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства [Текст] : монография / А.А. Недоступ. - Калининград: Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. - 280 с.
7. Недоступ, А.А. Методы расчета сетных активных орудий прибрежного и океанического рыболовства. Методы расчета донных и разноглубинных тралов [Текст] : монография / А.А. Недоступ. - Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. - 156 с.
8. Андреев, Н.Н. Дифференциальное определение посадочного коэффициента [Текст] / Н.Н. Андреев // Труды Мосрыбвтуза. - Вып. V. - 1953. - С. 69-77.
9. Андреев, Н.Н. Уравнение поверхности сетного полотна, прикрепленного к двум обручам [Текст] / Н.Н. Андреев // Труды КТИРПиХ. - Вып. XI. - 1960. - С. 15-28.
10. Андреев, Н.Н. Уравнение поверхности сетного полотна кошелькового невода во время стягивания колец [Текст] / Н.Н. Андреев // Труды КТИРПиХ. - Вып. XVII. - 1964. - С. 43-73.
11. Изнанкин, Ю.А. Геометрия рыболовной сети на поверхности вращения отрицательной кривизны [Текст] / Ю.А. Изнанкин // Труды КТИРПиХ. - Вып. XXI. - 1969. - С. 70-79.
12. Коротков, В.К. Рабочая форма трала и метод расчета его конической части [Текст] / В.К. Коротков // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. L. - 1971. - С. 115-124.
13. Дверник, А.В. К изучению усилий, действующих в устье траловой сети [Текст] / А.В. Дверник, Г.М. Долин // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. LIII. - 1973. - С. 88-91.
14. Иванов, Э.П. Расчет сетной оболочки постоянной отрицательной гауссовской кривизны с учетом растяжимости нитей [Текст] / Э.П. Иванов // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. LVII. - 1975. - С. 80-83.
15. Гукало, Я.М. О нагрузках в пространственных сетных фигурах и на моделях трала. [Текст] / Я.М. Гукало // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. 62. - 1977. - С. 109-115.
16. Кулагин, В.Д. Номограмма для расчета кошельковых неводов с учетом опушек [Текст] / В.Д. Кулагин, Б.Г. Печерский // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. 62. - 1977. - С. 121-126.
17. Изнанкин, Ю.А. О репрезентативности континуальной и дискретной моделей сетных мешков [Текст] / Ю.А. Изнанкин, В.П. Котик // Труды КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. - Вып. 65. - 1977. - С. 47-52.
18. Кулагин, В.Д. Атлас расчетных диаграмм сетных частей некоторых типов орудий лова [Текст] / В.Д. Кулагин // Труды КТИРПиХ. Теория, проектирование и эксплуатация рыболовных систем. - Вып. 89. - 1980. - С. 44-49.

<p>Недоступ Александр Алексеевич ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград кандидат технических наук, проректор по научной работе, зав. кафедрой промышленного рыболовства E-mail: nedostup@kigtu.ru E-mail: anedostup@yahoo.com</p>	<p>Павленко Александр Александрович ФГУП «ПИНРО», г. Мурманск заведующий лабораторией промышленного рыболовства E-mail: pavlenko@pinro.ru</p>	<p>Ражев Алексей Олегович ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград аспирант кафедры промышленного рыболовства</p>
---	--	---

MATHEMATICAL MODELLING NETTING CLOTH FIXED TO A HOOP

The algorithm of calculation of forces of a tension in a netting attached to a hoop is developed. On schedules are represented 3D the forms of netting fixed on the top hoop. The color spectrum displays sizes of force of a tension in thread. The computer program of calculation of force and geometrical characteristics of the netting attached to a hoop is developed.

Keyword: *netting, mathematical model, 3D the forms of netting, computer program*

BIBLIOGRAPHY

- [1] Lee, C.W. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation [Text] / C.W. Lee, etc. // Ocean engineering. - 2005. - №32. - Pp. 331-347.
- [2] Lee, C.W. Development of a design and simulation tool for the moored underwater flexible system [Text] / C.W. Lee, [etc] // 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2007. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources. Taylor and Francis. London. - 2007. - Pp. 935-939.
- [3] Nedostup A.A. Justification of a fishery tools network calculation method on the discrete model basis//Materials from the International scientifically-practical conference devoted to the 85 anniversary from the date of birth of the honored worker of a Russian science and technics - Mr. Friedman Aleksandr Lvovich and to the 95 anniversary from the date a of fisheries industrial chair basis. Kaliningrad. Publishing house FSEO <<KSTU>>. 2010. - P. 266-275.
- [4] Nedostup A.A. Discrete model of a fishing net. Izvestia KSTU.No.18. - 2010. - P. 255-261.
- [5] Nedostup A.A., Polozkov A.V. Mathematical modeling of a pursesshape seine wall immersing process. A fish economy. No.3. - 2011. - P. 100-102.
- [6] Nedostup A.A. Calculation methods of the passive internal and inshore fishing net tools: the monography. Kaliningrad: Publishing house FSEO HPE <<KSTU>>, 2010. – 280 P.
- [7] Nedostup A.A. Calculation methods of net active tools coastal and oceanic fishery. Methods of ground and allopelagic trawls calculation: the Monography. Kaliningrad: Publishing house FSEO HPE <<KSTU>>, 2011.- 156 P.
- [8] Andreev N.N. Differential determination of the landing coefficient // Works of Mosryb-hteo. - Issue V. - 1953. - P. 69-77.
- [9] Andreev N.N. The surface equation of a net cloth attached to two hoops // Works of KTIFP&E. - Issue XI. - 1960. - P. 15-28.
- [10]Andreev N.N. Surface net cloths pursesshape seine equation during the rings tightening Works of KTIFP&E. - Issue XVII. - 1964. - P. 43-73.
- [11]Iznankin Ju.A. Fishing net geometry on a rotation surface negative curvature // Works of KTIFP&E. - Issue XXI. - 1969. - P. 70-79.
- [12]Korotkow V.K. The working form of a trawl and a method of its conic parts calculation // Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue. L. - 1971. - P. 115-124.
- [13]Dvernik A.V., Dolin G.M. To studying the efforts acting in a trawling network stoma// Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue. LIII. - 1973. - P. 88-91.
- [14]Ivanov E.P. Constant negative Gaussian curvature net covers Calculation taking into account an extensibility of threads//Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue LVII. - 1975. - P. 80-83.
- [15]Ghookalo Ya.M. About loadings in spatial net figures and on the trawl models// Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue 62. - 1977. - P. 109-115.
- [16]Kulagin V.D., Pecherskii B.G. The nomogram for net seines calculation taking into account edges// Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue 62. - 1977. - P. 121-126.
- [17]Iznankin Ju.A., Kotik V.P. About a representativeness of continual and discrete net bags models // Works of KTIFP&E. Industrial fishery. - Issue 65. - 1977. - P. 47-52.
- [18]Kulagin V.D. Some types of catching tools net parts settlement diagrams atlas // Works of KTIFP&E. The theory, designing and operation of fishing systems. - Issue 89. - 1980. - P. 44-49.

Nedostup Aleksandr Alekseevich
FSEO HPE «Kaliningrad State Technical University»,
city Kaliningrad
Cand.Tech.Sci., the pro-rector on the scientific work, a head of industrial fishery chair
E-mail: nedostup@klgtu.ru
E-mail: anedostup@yahoo.com

Pavlenko Aleksandr Aleksandrovich
FSEO «PISFU»,
city Murmansk
a head of industrial fishery laboratory
E-mail: pavlenko@pinro.ru

Rajhev Aleksei Olegovich
FSEO HPE «Kaliningrad State Technical University»,
city Kaliningrad
a post-graduate student of industrial fishery chair

КОНСТРУИРОВАНИЕ

РАСЧЕТЫ И МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.822.5+621.822.6+621.752

Д.О. БАЗЛОВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНЫХ СИСТЕМ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ОПОРАХ С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В статье рассматривается экспериментальный стенд для проведения комплексных исследований характеристик роторных систем на комбинированных опорах с упругими элементами. Описан принцип построения информационно-измерительной системы на основе современных средств автоматизации, измерения и обработки экспериментальных данных.

Ключевые слова: ротор, подшипник качения, подшипник скольжения, комбинированная опора, экспериментальный стенд, информационно-измерительная система.

Комплексному исследованию поведения роторных систем на различных подшипниковых узлах посвящено множество работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Однако подавляющее большинство из них рассматривают ротор, опирающийся на какой-либо конкретный тип опоры (подшипник качения – ПК, подшипник скольжения – ПС или электромагнитный подшипник). В ряде случаев при разработке нового, либо модификации существующего роторно-опорного узла с повышенными требованиями по надежности, быстроходности и ресурсу целесообразно проектирование опоры, в которой конструктивно объединены несколько типов подшипников, различающихся по способу создания несущей способности. Такое объединение позволяет добиться синергетического эффекта: исключить (или максимально снизить) недостатки, присущие каждому типу подшипников, и одновременно сохранить их достоинства. Опоры подобного вида получили название комбинированных (КО).

Все многообразие конструктивных решений комбинированных опор можно разделить на три основные группы:

- комбинированные опоры с разделением нагрузки (КОРН) позволяют сохранить гарантированный радиальный зазор между втулкой ПС и цапфой в начальный момент работы, и частично разгрузить ПК на основных режимах работы;

- комбинированные опоры с разделением скоростей (КОРС) позволяют частично или полностью выключается из работы подшипник качения, в зависимости от момента трения ПС и повысить устойчивость движения ротора;

- комбинированные опоры с разделением нагрузки и скорости (КОРНС) обеспечивают гарантированный радиальный зазор ПС на режимах пуска-останова, перераспределяют нагрузку между ПК и ПС при переходных процессах, а на основном режиме – отключение ПК, тем самым, снимая жесткие ограничение по предельной быстроходности.

В настоящее время систематическому изучению характеристик комбинированных опор посвящено немного работ, основное внимание в которых уделялось исследованию статических характеристик [2, 4, 6, 10, 12]. В работе [5] делался акцент на исследования динамических характеристик (траекторий движения центра цапфы ротора, амплитудно-частотных характеристик, уровней вибрации) и факторов их определяющих, применительно к КОРН и КОРС. Вместе тем, работы, направленные на изучение КОРНС, практически отсутствуют. Таким образом, очевидной является целесообразность проведения исследований именно этого типа комбинированных опор.

Одним из возможных вариантов комбинированной опоры с разделением нагрузки и скорости является комбинированная опора с упругой втулкой. Разгон ротора в подобной

опоре происходит на подшипнике качения, а работа на номинальном режиме – на подшипнике скольжения. В качестве переключателя с одного типа подшипника на другой используется упругая эллиптическая втулка, которая при разгоне под действием центробежных сил деформируется и выключает из работы подшипник качения. При остановке агрегата процесс происходит в обратном порядке.

В экспериментальных исследованиях комбинированных опор с упругими элементами основное внимание следует уделить следующим параметрам и закономерностям: скорость и момент переключения с ПК на ПС; траектории движения центра цапфы ротора в зазоре ПС; грузоподъемность ПК и ПС; динамическое поведение элементов КО на режимах пуска и останова, виброскорости и виброперемещения на корпусах ПС и ПК; расход смазочного материала; распределение давлений в смазочном слое ПС.

Для проведения эксперимента и выявления закономерностей работы высокоскоростных роторных машин на комбинированных опорах с упругими элементами был разработан стенд (рисунок 1, а), принципиальная схема которого показана на рисунке 1, б.

Экспериментальный стенд представляет собой стальной корпус 1, установленный на чугунной станине 2. В корпус 1 монтируются подшипниковые узлы (ПУ) 3, которые имеют в своей наружной части отверстия для крепления в двух взаимно перпендикулярных направлениях датчиков перемещения (IA5-18GM-13 «Pepperl+Fuchs») 14 (по два на каждую опору).

В качестве привода используется асинхронный электродвигатель АИР80А2ЕУ3 ($N_{ном} = 3$ кВт, $n_{ном} = 3000$ об/мин) 4 с частотным преобразователем Lenze серии ESMD 5. Наличие частотно-регулируемого привода позволяет:

- 1) выбирать тип кривой разгона электродвигателя (линейная; U – образная; S – образная; минимум; оптимум);
- 2) устанавливать частоту вращения в диапазоне от 0 до 12 000 об/мин;
- 3) осуществлять выбег с заданной частоты вращения или осуществлять торможение (постоянным током или замыканием на тормозной резистор);
- 4) моделировать переходные процессы, в частности программно задавать колебания частоты вращения ротора;
- 5) ограничивать мощность электропривода.

Условием выбора диапазона частот вращения является обеспечение возможности работы ротора в докритической, резонансной и закритической области.

Вал электродвигателя соединен через зубчатую муфту 7 с ротором 6, представляющий собой ступенчатый вал. Система питания смазочным материалом экспериментального стенда состоит из электрического гидронасоса 8 БВО12-40 мощностью 0,25 кВт, бака-накопителя для смазочного материала 9 и гидравлической периферии, обеспечивающей циркуляцию смазки по замкнутому контуру в течение всего эксперимента. Смазочный материал через напорную магистраль 10 подается в камеры подшипника скольжения 11. Пройдя через сложный гидравлический тракт ПС, смазка по сливной магистрали 12 поступает в бак 9. Давление в магистрали подачи смазочного материала меняется в диапазоне 0...0,4 МПа путем перекрытия соответствующих вентилей и контролируется датчиками давления (КРТ-С, ОАО «Орлэкс») 13, которые по резьбе закреплены в корпусе 1.

Такая конструкция экспериментального стенда позволяет, при едином корпусе подшипникового узла, исследовать различные виды конструкторских решений комбинированных опор с разделением нагрузки и скорости путем замены упруго элемента переключения, втулок ПС, корпуса ПК и их взаимного расположения.

На рисунке 2 представлена конструкция комбинированной опоры с упругой втулкой на основе последовательно расположенных мехатронного подшипника качения № 205 (SKF, Швеция) и гидростатодинамического подшипника (диаметр опорной части 40 мм, длина 72 мм, диаметр камер 3 мм, номинальный радиальный зазор 100 мкм). В корпус ПУ 3 в осевом направлении по переходной посадке вставляется втулка ПС с точечными питающими камерами 11, которая одним торцом упирается в выступ корпуса 15, а другой торец фиксиру-

ется гайкой 16. Цапфа вала 6 и втулка с питающими камерами 11 образует гидростатодинамический подшипник скольжения (ГСДП).

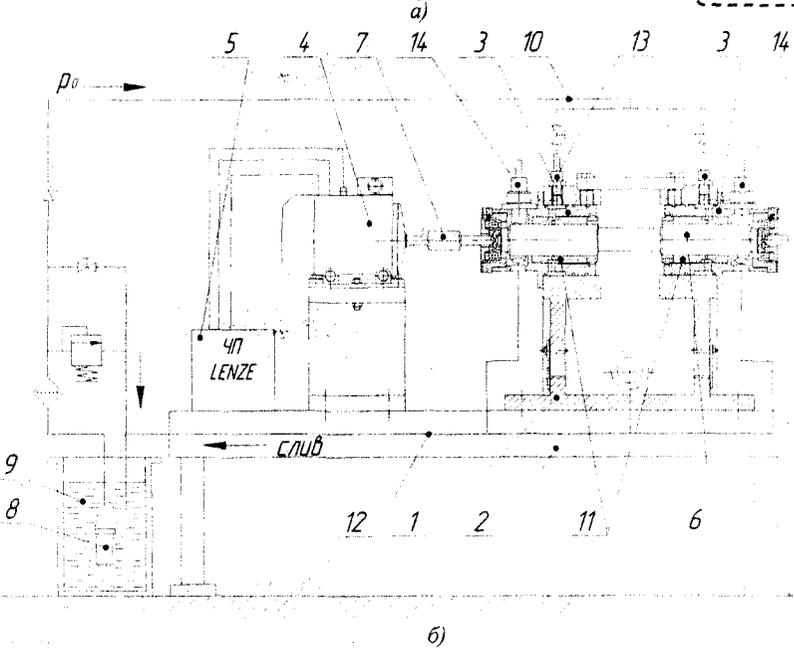
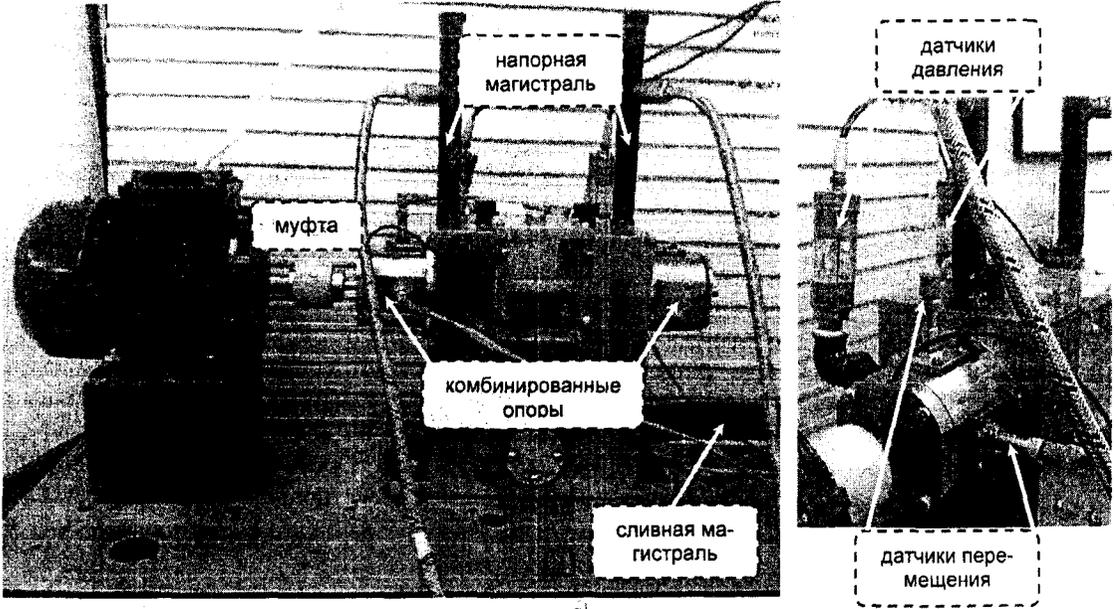


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд

К противоположному торцу корпуса 3 крепится крышка 17, в отверстии которой закреплен мехатронный подшипник качения (МПК) 18. Мехатронный подшипник качения шведской фирмы SKF представляет собой мехатронное устройство, в котором объединены универсальный (типовой) шарикоподшипник и активный датчик вращения компактной конструкции. Такое сочетание обеспечивает точное измерение скорости и направления вращения практически до нулевого значения. Главными деталями датчика являются импульсное кольцо 19, корпус датчика 20 и соединительный кабель 21 (рисунок 3, а). Композитное магнитное импульсное кольцо 19 крепится к внутреннему кольцу подшипника. В зависимости

от размера подшипника оно разделено на определенное количество северных и южных полюсов. Количество импульсов за один оборот, как правило, находится в пределах от 32 до 80. Корпус датчика 20 крепится к наружному кольцу подшипника и имеет два чувствительных элемента, способных определять направление вращения. Два датчика, установленных в корпусе, смещены относительно друг друга. Их миниатюрные интегральные платы вмещают не только датчики Холла, используемые в качестве активного элемента, но и электронные блоки усиления и преобразования сигнала. Аналоговый синусоидальный сигнал, поступающий от датчика Холла, усиливается и преобразуется в прямоугольные импульсы триггером Шмита (рисунок 3, б). Направление вращения определяется по фазе сигнала [14].

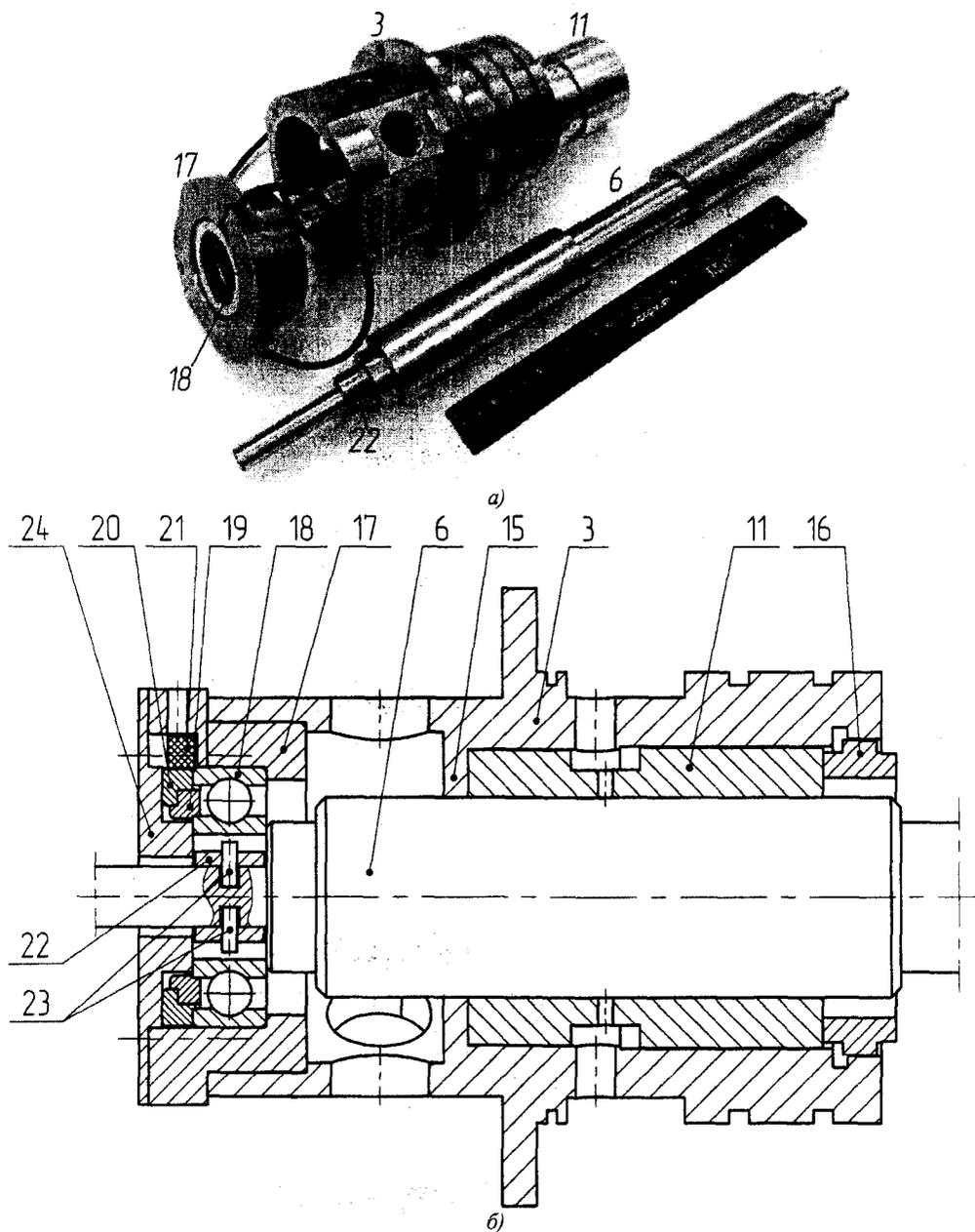


Рисунок 2 – Комбинированная опора с упругой втулкой

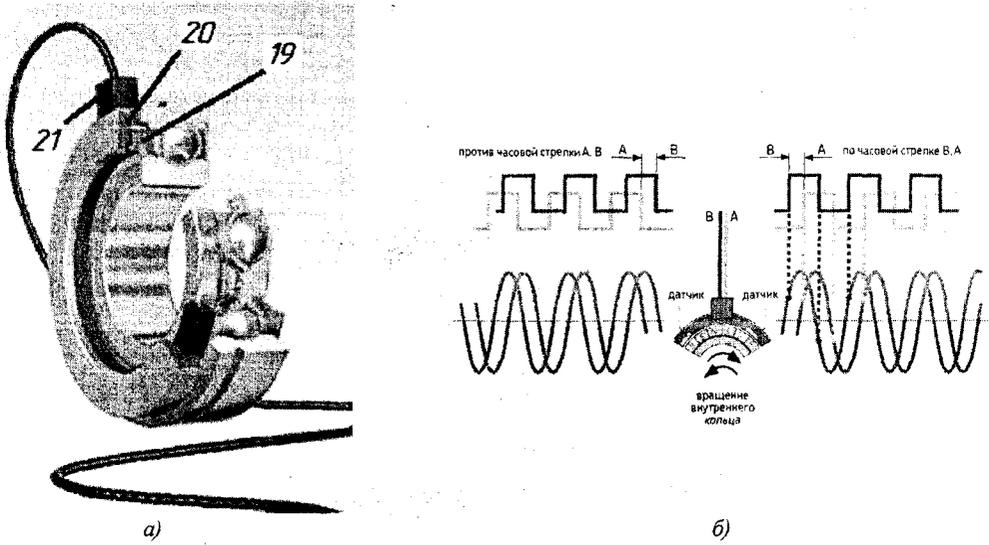


Рисунок 3 – Мехатронный подшипник качения [14]

Во внутреннее кольцо ПК 18 монтируется упругое эллиптическое кольцо 22, после чего с помощью штифтов 23 фиксируется на шейке вала с возможностью деформирования под действием центробежных сил (рисунок 2). Данное кольцо является своего рода «упругим переключателем» между режимами работы ротора на подшипнике качения и подшипнике скольжения. К крышке 17 крепится накладка 24, которая защищает узел МПК-упругое кольцо.

Принцип работы представленной комбинированной опоры заключается в следующем: в момент запуска (останова) привода центрирование шейки вала и передача нагрузки на корпус осуществляется через упругое эллиптическое кольцо и подшипник качения. Момент трения в ПК преодолевается за счет сил сцепления, возникающих при монтажном сжатии упомянутого упругого эллиптического кольца. С увеличением скорости вращения вала происходит деформация упругого кольца под действием центробежных сил, что приводит к расцеплению кольца и подшипника качения, а в радиальный зазор подшипника скольжения начинает подаваться смазочный материал. Таким образом, на номинальном режиме работы ротор опирается на подшипник скольжения, а на режимах пуска (останова) – на подшипник качения.

Разработка информационно-измерительной системы (ИИС) для исследования динамических характеристик роторной системы на комбинированных опорах с упругой втулкой велась с учетом соблюдения следующих основных требований:

- простота конфигурации и реконфигурации на основе унификации первичных преобразователей;
- одновременный сбор данных и управление исполнительными устройствами;
- возможность одновременной записи данных со всех каналов измерения;
- высокие метрологические характеристики;
- датчики перемещений должны иметь бесконтактный принцип действия, исключая воздействие на вращающийся ротор;
- иметь удобный программный комплекс для вывода, обработки и анализа результатов измерений

На основании вышеизложенных требований создана ИИС, структурная схема которой представлена на рисунке 4.

Базовым элементом ИИС является аналого-цифровой преобразователь фирмы «National Instruments» [11]. Роль первичных преобразователей выполняют индуктивные датчики относительных виброперемещений ДБ2 фирмы «НПО Измерительной Техники» [3] и IA5-18GM-13 фирмы Pepperl+Fuchs [13], с помощью которых осуществляется отслеживание

положения ротора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для измерения давлений в напорной магистрали ПС используются датчики КРТ-С фирмы «Орлэкс» (Орел, Россия). Частота вращения регистрируется по двум каналам: от мехатронного подшипника качения и частотного преобразователя Lenze серии ESMD. Соединительные кабели связывают датчики с согласующими устройствами.

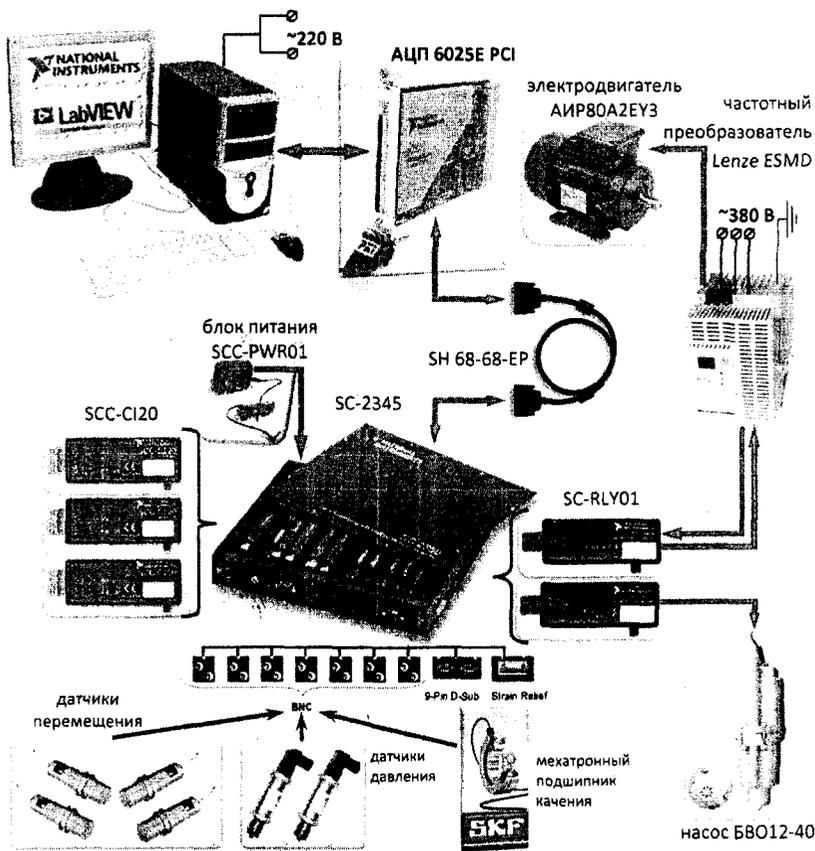


Рисунок 4 – Структурная схема информационно-измерительной системы

Основой ИИС является многофункциональная плата NI6052E, которая имеет возможность многоканального цифрового и аналогового ввода-вывода и счетчики-таймеры. Функциональное назначение платы – обеспечение ввода-вывода сигналов, оцифровка и обработка команд, управление силовыми исполнительными модулями стенда.

Сигналы с различных датчиков поступают в одно- или двухканальные аналоговые согласующие SCC модули. Управление электродвигателем и насосом, а также осуществление функций аварийного отключения стенда производится через модули реле SC-RLY01. Для более компактного расположения и последующей обработки сигналов модули SCC и SC-RLY01 монтируются в единый блок-модуль SC-2345, где унифицированные сигналы с датчиков преобразуются в диапазон, воспринимаемый аналого-цифровым преобразователем (0..5В). В нашем конкретном случае датчики перемещения, датчики давления, мехатронный ПК и силовые модули экспериментального стенда подключаются к SC-2345 через интерфейсные разъемы BNC, 9-Pin D-sub, Strain Relief. Модуль SC-2345 требует внешнего питания 5В, источником которого является блок-питания SCC-PWR01. Плата NI6052E и модуль SC-2345 коммутируются единым кабелем SH 68-68-EP. Данные с многофункциональной платы NI6052E, имеющей расширенные возможности синхронизации и тактирования, поступают в контроллер для последующей обработки или записи на жесткий диск.

Для регистрации момента переключения комбинированной опоры с ПК на ПС, т.е. частоты вращения на которой упругое эллиптическое кольцо выходит из сцепления с подшипником качения, предложена следующая идея. Частотный преобразователь Lenze ESMD отслеживает частоту вращения ротора. В свою очередь датчик мехатронного подшипника качения передает данные о частоте вращения внутреннего кольца. Эти частоты обрабатываются программным обеспечением ИИС в режиме реального времени. В процессе разгона ротора наступает момент, когда упругая эллиптическая втулка под действием центробежных сил деформируется и выходит из сцепления с внутренней обоймой ПК, т.е. внутреннее кольцо начнет замедляться. Это является моментом переключения комбинированной опоры. При рассинхронизации показаний частот вращения внутреннего кольца мехатронного подшипника качения и частотного преобразователя подается управляющий сигнал на реле SC-RLY01, которое включает насос, и, соответственно, обеспечивает подачу смазочного материала в подшипник скольжения. Таким образом, подобная система автоматического управления позволяет четко фиксировать скорость переключения между режимами работы комбинированной опоры, и своевременно осуществлять подачу смазочного материала в подшипник скольжения, тем самым, исключая износ опорных поверхностей.

Программа эксперимента включает минимум семь испытаний для одинаковых рабочих параметров [1]. Каждое испытание состоит из разгона ротора до рабочей частоты вращения, работу некоторое время на установившемся режиме и останов. Возможности экспериментального стенда позволяют фиксировать частоту вращения, на которой происходит расцепления упругой эллиптической втулки и кольца подшипника качения, траектории перемещения центра цапфы ротора в зазоре ПС, давление в коллекторе подшипника скольжения, частотно-временные характеристики ротора на режимах разгона и выбега, и другие важные параметры.

В качестве инструментария для управления экспериментальным стендом, сбора и обработки данных с первичных преобразователей использовалось программное обеспечение, разработанное авторами в среде LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [8, 9, 11]. Драйвера для согласования преобразователя частоты и контроллера, а так же все программное обеспечение для функционирования информационно-измерительной системы, проведения эксперимента и обработки данных было написано на языке графического программирования «G».

Программное обеспечение для проведения экспериментальных исследований состоит из двух модулей: 1) настройка и проведение эксперимента; 2) обработка данных эксперимента. Модуль настройки информационно-измерительной системы и проведения эксперимента в режиме реального времени (рисунок 5), интегрированный с модулем сохранения данных и автоматизированного проведения эксперимента, служит для визуализации сигналов со всех первичных преобразователей и их первичной отстройки. Такой подход позволяет проводить эксперимент с визуализацией всех измеряемых параметров. Отдельный программный модуль (рисунок 6) предназначен для последующей обработки сохраненных экспериментальных данных. В качестве фильтра для обработки сигналов с датчиков используется встроенные в программное обеспечение процедуры Фурье-анализа [7].

На рисунке 7 представлены траектории движения комбинированной опоры с упругими элементами на режиме подшипника скольжения иллюстрирующие наличие автоколебательных режимов работы и возникновение сложных хаотических вибраций, связанных с существенной нелинейностью смазочного слоя. По форме и размерам полученных траекторий можно судить о влиянии различных рабочих и геометрических параметров на работоспособность комбинированной опоры и устойчивость движения роторной системы.

Аналізу влияния различных параметров на динамические характеристики комбинированной опоры с упругими элементами и методологии их вибрационной диагностики с использованием разработанного экспериментального стенда будет посвящена отдельная работа авторов.

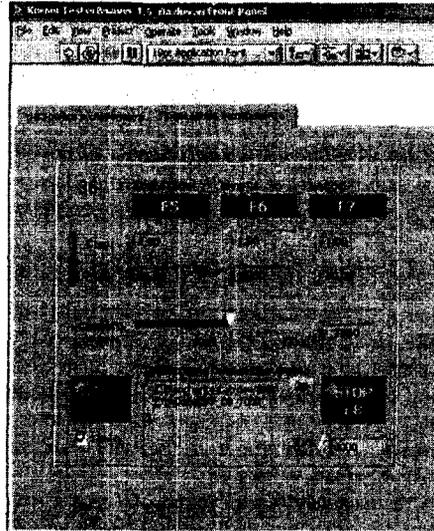


Рисунок 5 – Интерфейс программного модуля для настройки и проведения эксперимента

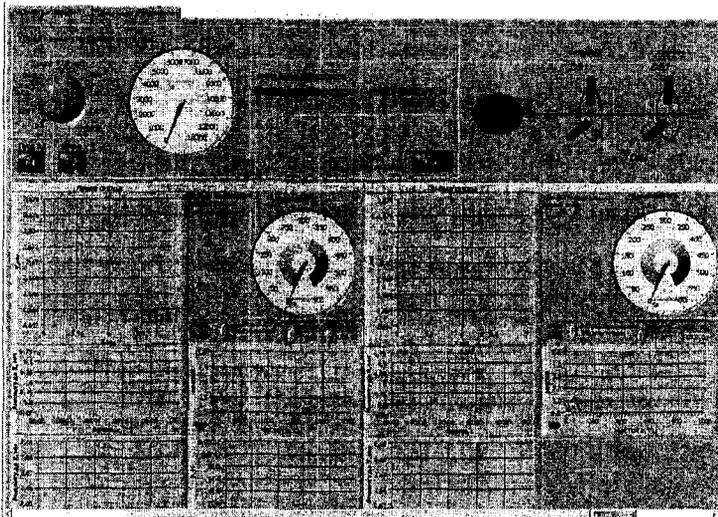
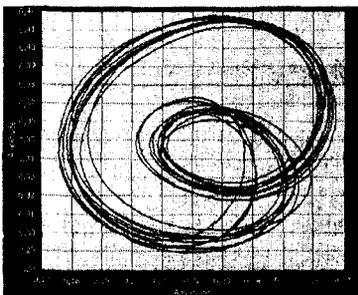
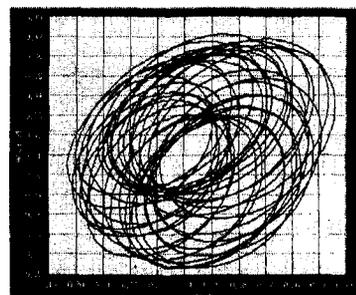


Рисунок 6 – Интерфейс программного модуля для обработки данных эксперимента



а)



б)

Рисунок 7 – Экспериментальные траектории движения

Работа по проектированию и созданию экспериментального стенда для исследования динамических характеристик роторных систем на комбинированных опорах с упругими эле-

ментами была выполнена в рамках проекта №2010-1.1-208-076-020 федеральной целевой программы Министерства образования и науки РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (госконтракт №14.740.11.0030).

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. Алиев, Т.А. Экспериментальный анализ [Текст] / Т.А. Алиев. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
2. Горюнов, Л.В. Формирование конструктивного облика опор роторов быстроходных турбомашин [Текст] / Л.В. Горюнов, Ю.А. Ржавин, В.В. Такмовцев // Изв.ВУЗов. Авиационная техника. –1998. – № 3. – С. 106-109.
3. НПО «Измерительной техники» [Электронный ресурс] / - Электрон. дан. – Режим доступа <http://www.vibron.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Пинегин, С.В. Возможности повышения работоспособности высокоскоростных опор путем совмещения газовых подшипников с подшипниками качения [Текст] / С.В. Пинегин, А.В. Орлов, В.П. Петров // Вестник машиностроения. – 1980. – №5. – С. 11-13.
5. Поляков, Р.Н. Повышение динамических качеств и ресурса опорных узлов роторов совмещением подшипников качения и скольжения [Текст]: дис.... канд. техн. наук. – Орел, 2005, – 160 с.
6. Понькин, В.Н. Совмещенные опоры быстроходных турбомашин: принципы конструирования и экспериментальное исследование [Текст] / В.Н. Понькин, Л.В. Горюнов, В.В. Такмовцев. – Казань: Изд-во КГТУ, 2003. – 62 с.
7. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.
8. Суранов, А.Я. LabView 7: справочник по функциям [Текст] / А. Я. Суранов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
9. Тревис, Д. LabVIEW для всех [Текст] / Д. Тревис. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 544 с.
10. Ханович, М.Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные [Текст] / М.Г. Ханович. – Л.: Машгиз, 1960. – 272 с.
11. National Instruments [Электронный ресурс] / - Электрон. дан. – Режим доступа <http://www.ni.com>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
12. Nielson, С.Е. Final report: Hybrid Hydrostatic/Ball Bearings in High-Speed Turbomachinery [Text] / Rocketdyne Division, Canoga Park, CA. RI/RD 83 – 104, Jan. 1983. (NASA CR-168124).
13. Pepperl + Fuchs – Российское представительство [Электронный ресурс] / - Электрон. дан. – Доступ <http://www.pepperl-fuchs.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
14. SKF Group [Электронный ресурс] / - Электрон. дан. – Режим доступа <http://www.skf.com>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

Базлов Денис Олегович

Инженер каф. «Мехатроника и международный инжиниринг»

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Тел: (4862) 41-98-85

E-mail: deydo0@rambler.ru

Поляков Роман Николаевич

Кандидат технических наук, доцент каф. «Мехатроника и международный инжиниринг»

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Тел: (4862) 41-98-85

E-mail: romanpolak@mail.ru

D.O. BAZLOV, R.N. POLYAKOV

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ROTOR SYSTEMS IN THE COMBINED BEARINGS WITH ELASTIC ELEMENTS

The article considers the experimental facility for complex data research of the rotor system in combined bearings with elastic elements. Describes the principle of building information-measuring system based on modern means of automation, measurement and data processing.

Ключевые слова: rotor, ball bearing, sleeve bearing, combined bearing, experimental facility, information-measuring system.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Aliev, T.A. Experimental analysis (Russian) [Text] / T.A. Aliev. - Moscow, Mashinostroenie, 1991. – 272 p.
- [2] Goryunov, L.V., Formation of constructive shape of bearings for high-speed turbomachinery rotors (Russian) [Text] / L.V. Goryunov, Y.A. Rzhavin, V.V. Takmovtsev // Izv.VUZov. Aviazionnaya tehnika. -1998. - № 3. - P. 106-109.
- [3] NPO «Izmeritel'noj tehniki» [Internet resource] / – Electronic data. – Access <http://www.vibron.ru>, free. – Russian.
- [4] Pinegin, S.V. Opportunities to increase performance high-speed bearings by combining gas bearings with rolling element bearings (Russian) [Text] / S.V. Pinegin, A.V. Orlov, V.P. Petrov // Vestnik mashinostroeniya. - 1980. - № 5. - P. 11-13.
- [5] Polyakov, R.N. Increasing the dynamic qualities and service life of rotor bearings units through a combination of rolling bearings and plain bearings (Russian) [Text] : Candidate of Engineering sciences. – Orel, 2005 – 160 p.
- [6] Ponkin, V.N. Combined bearings of high-speed turbomachinery: design principles and experimental research (Russian) [Text] / V.N. Ponkin, L.V. Goryunov, V.V. Takmovtsev. – Kazan: Publishing of Kazan State Technical University, 2003. – 62 p.
- [7] Sergienko, A.B. Digital Signal Processing (Russian) [Text] / A.B. Sergienko. – St. Petersburg. Peter, 2002. – 608 p.
- [8] Suranov, A.Ja. LabView 7: Function Reference (Russian) [Text] / A. Ja Suranov. - Moscow, DMK Press, 2005. – 512 p.
- [9] Travis, D. LabVIEW for all (Russian) [Text] / D. Travis. - Moscow, DMK Press, 2004. – 544 p.
- [10] Hanovich, M.G. Fluid bearings and combined bearings (Russian) [Text] / M.G. Hanovich. – Leningrad, Mashgiz, 1960. – 272 p.
- [11] National Instruments [Internet resource] / – Electronic data. – Access <http://www.ni.com>, free. – English.
- [12] Nielson, C.E. Final report: Hybrid Hydrostatic/Ball Bearings in High-Speed Turbomachinery [Text] / C.E. Nielson. - Rocketdyne Division, Canoga Park, CA. RI/RD 83 – 104, Jan. 1983. (NASA CR-168124).
- [13] Pepperl + Fuchs – Rossijskoe predstavitel'stvo [Internet resource] / – Electronic data. – Access <http://www.pepperl-fuchs.ru>, free. – Russian.
- [14] SKF Group [Internet resource] / – Electronic data. – Access <http://www.skf.com>, free. – Russian.

Denis Olegovich Bazlov
 FSEI HVT «State University – ESPC»
 Engineer of the Department «Mechatronics and International Engineering»
 Phone: (4862) 41-98-85
 E-mail: deydoo@rambler.ru

Roman Nikolaevich Polyakov
 FSEI HVT «State University – ESPC»
 Can. Sc. Enginner. of the Department «Mechatronics and International Engineering»
 Phone: (4862) 41-98-85
 E-mail: romanpolak@mail.ru

УДК 664.762.04:633.12

С.В. КАРЕВ, Л.М. КАМОЗИН, В.С. ВАНИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ГРЕЧНЕВОЙ КРУПЫ

Гидротермическая обработка является одной из важнейших операций при производстве гречневой крупы. Однако совершенствование данного процесса идет слишком медленными темпами. В данной работе рассмотрены различные способы гидротермической обработки гречневой крупы и проанализированы.

Ключевые слова: гидротермическая обработка зерна; пропаривание гречихи; производство гречневой крупы.

Повышение качества пищевой продукции, обеспечение населения продуктами питания, увеличение их ассортимента как в целом, так и по отдельным группам, выпуск новых видов пищевых продуктов, увеличение технико-экономических показателей работы пищевых отраслей являются важнейшими направлениями научно-технического прогресса в пищевой промышленности. Они могут быть реализованы за счет создания и внедрения принципиально новых и интенсификации существующих технологических процессов производства, малоотходных и безотходных технологий, автоматизации производственных процессов.

В качестве примера можно привести электрофизические методы обработки пищевых продуктов (электроплазмолиз, электрофлотация, электрокопчение, электростатическое формирование и панировка, электросепарирование, высокочастотный и сверхвысокочастотный методы обработки пищевых продуктов, обработка пищевых продуктов инфракрасным излучением), которые в последнее время широко разрабатываются и внедряются в пищевой промышленности [8,9]. Однако чаще всего в отечественной пищевой промышленности можно наблюдать точечное, локальное совершенствование существующих технологий с целью решения каких-то частных задач: сокращение продолжительности технологической операции, снижение ее энергоемкости, автоматизация отдельных процессов и т.д.

В значительной мере это относится и к технологическому оборудованию пищевых производств, совершенствование которого обычно идет в одном из направлений: снижение материало- и энергоемкости, уменьшение габаритных размеров, повышение надежности, упрощение конструкции, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт.

В этой связи на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» ФГОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК» г. Орла была поставлена задача проанализировать современное состояние и развитие пищекокнцентратной отрасли АПК России в части производства крупяных культур и прежде всего – гречневой крупы.

В последнее десятилетие существования СССР развитие крупяной промышленности было связано в основном с созданием крупных предприятий производительностью от 50 до 400т/сут, на которых к 1990 г. вырабатывалось более 2500 тыс. т различных круп. К 1996 г. производство круп на этих предприятиях сократилось в 3,5 раза и составило около 700 тыс. т. Производство же круп на местах значительно выросло, однако оно основывалось на установках небольшой производительности, конструкции которых не обеспечивали выполнения необходимых технологических операций, работали по сокращенным технологическим схемам и имели низкий выход готовой продукции, в подавляющем большинстве случаев не отвечающей действующим стандартам. Таким образом, «короткие схемы» при производстве практически всех видов круп не позволяют выработать крупы стандартного качества и высоких потребительских свойств.

Необходимы качественная гидротермическая обработка, тщательное фракционирование, шелушение и шлифование, высокая эффективность сепарирования, в том числе при получении конечных продуктов.

Предварительный анализ технологии производства гречневой крупы и машинно-аппаратурной схемы её оформления и, прежде всего, гидротермическая обработка гречихи (ГТО), позволяет выявить ряд серьёзных недостатков:

1. Сравнительно большое число технологических операций от начала процесса производства до выхода конечного продукта. К ним относятся сепарирование зерна гречихи с целью удаления различных примесей, отволаживание гречихи для адсорбции влаги внутрь зерна, гидротермическая обработка гречихи, фракционирование на 4-6 фракций и, наконец, шелушение [3].

2. Значительная продолжительность процесса гидротермической обработки, которая, в зависимости от принятой технологии, может включать такие операции как отволаживание, пропаривание, сушку, охлаждение. Как правило, продолжительность ГТО обычно составляет ~ 1 час на тонну гречихи [3] (без учета времени отволаживания). В крупяном производстве отволаживание является вспомогательным приемом, который продолжается от 30 мин. до 1 ч. [2].

3. Большая энергоёмкость процесса гидротермической обработки, связанная с необходимостью пароувлажнения зерна гречихи, его последующей сушки; энергозатратны также процессы фракционирования и шелушения.

4. Сложность схемы фракционирования, которая предлагает разделение зерна гречихи после ГТО на 4-6 фракций. При этом размеры зёрен по высоте в каждой фракции не должен быть более 0,2 мм. Разность по высоте между фракциями также не должна превышать 0,2 мм [3]. Более того, хрупкость гречихи определяет необходимость разделения ядрицы на целую и разрушившуюся (продел) после шелушения. Это предопределяет и следующий недостаток.

5. Сравнительно невысокий выход целой ядрицы (60-65%).

6. Значительные производственные площади для размещения технологического оборудования, что вытекает из сложности самой технологической схемы, периодичности работы некоторых машин и аппаратов, их громоздкости.

Перечисленные недостатки позволяют расставить ориентиры и задать направления совершенствования технологического процесса производства гречневой крупы:

- сократить число технологических операций при одновременном снижении продолжительности оставшихся операций;

- снизить энергоёмкость процесса гидротермической обработки;

- найти принципиально новые подходы, технологии гидротермической обработки зерна гречихи, исследовать их и дать практические рекомендации;

- найти и научно обосновать другие пути шелушения гречихи или кардинально изменить существующую технологию шелушения с целью увеличения выхода ядрицы (80-85 %), снижения энергоёмкости процесса шелушения, уменьшения числа фракций (не более 2 - 3-х).

Иными словами, тактика постепенного, поэтапного совершенствования технологии производства гречневой крупы и соответствующего оборудования явно издержала себя и необходимо делать технологический прорыв в этом направлении.

Далее считаем целесообразным акцентировать внимание на таком важном технологическом блоке операций, как гидротермическая обработка зерна гречихи. При этом приведем наиболее принятые в производстве технологии ГТО или представленные в технической и специальной литературе.

Наиболее распространенной является схема ГТО, которая включает в себя пропаривание зерна, его сушку и охлаждение [3]. Пропаривание зерна проводят при давлении пара 0,25-0,30 МПа в течение 5 мин, сушку - до влажности 13,0-13,5% [10]. Причем для пропаривания зерна используют специальные аппараты двух типов: непрерывного и периодического дей-

ствия. Среди пропаривателей непрерывного действия наиболее распространены горизонтальные шнековые пропариватели. Зерно через шлюзовые затворы, обеспечивающие герметизацию пропаривателя, поступает в шнек, куда одновременно подается пар.

К достоинствам этих пропаривателей относятся: простота, высокая производительность, равномерная обработка зерна; к недостаткам - невозможность пропаривания зерна при относительно высоком давлении пара, так как шлюзовые затворы не обеспечивают должной герметизации. Если необходимо пропаривать зерно при высоком давлении пара, применяют пропариватели периодического действия со специальными затворами на входе и выходе зерна.

Такой пропариватель представляет собой сосуд, в который зерно загружают и разгружают через пробковые затворы. Пар подают через парораспределительный змеевик, состоящий из трех горизонтально расположенных колец, соединенных вертикальными трубами для равномерной подачи пара по всему объему зерна. Выпуск пара осуществляется через отводную трубу.

Операции впуска зерна и пара повторяют в строгой последовательности по заранее заданному циклу. Достоинство таких пропаривателей - возможность пропаривания зерна при сравнительно большом давлении пара и регулирования длительности пропаривания зерна.

В целом можно сказать, что данный способ имеет такие недостатки, как циклическая обработка, большие габариты, сложность конструкции, необходимость установки бункеров до и после пропаривателей.

Также существует способ ГТО зерна гречихи, который включает в себя предварительный прогрев зерна, пропаривание, сушку, охлаждение[7]. Пропаривание осуществляют 5-12 минут при давлении пара 0,40-0,65 МПа. Реализация данного способа осуществляется с помощью пропаривателя периодического действия сложной конструкции, что уже само является крупным недостатком.

Из других способов ГТО зерна гречихи необходимо указать способ, состоящий из операций увлажнения зерна водой, его отволаживания и сушке[1]. При этом увлажнение зерна ведут в увлажнительных машинах при атмосферном давлении до влажности 29-31 %, отволаживание в бункерах в течение 10-12 ч и сушку в сушилке при температуре агента сушки 160-170°C до влажности 13-14 %.

Здесь необходимо отметить пониженный выход готовой продукции, так как для увлажнения зерна гречихи до необходимой влажности его требуется не менее двух раз пропустить через увлажнительные машины с быстровращающимися рабочими органами, а при этом зерно гречихи, имеющее довольно хрупкое ядро, травмируется, что приводит при последующей его переработке к увеличению выхода менее ценных, чем ядрица, продуктов: дробленого ядра (продела) и мучки. К тому же, большая продолжительность процесса ГТО зерна, вызванная необходимостью его длительного отволаживания, требует больших производственных площадей для размещения бункеров отволаживания.

Еще один способ ГТО зерна гречихи основан на увлажнении зерна гречихи водой при глубоком вакууме, отволаживании и сушке при температуре 140-180°C до влажности 12-14 % [6].

Недостатками этого способа являются использование глубокого вакуума - остаточное давление 20-40 кПа; значительная длительность процесса отволаживания - 4-6 часов; необходимость использования деаэрированной воды; затраты пара на сушку зерна после отволаживания.

Еще один способ ГТО включает в себя обжаривание очищенного зерна гречихи при температуре 170-200°C в течение 3-5 минут, увлажнение водой с температурой 90-100°C до массовой доли влаги в зерне 19-21%, пропаривание паром с атмосферным давлением в течение 4,9-5 минут, отволаживание в течение 1-2 часов в изотермических условиях, подсушивание до массовой доли влаги не выше 13,5 % и охлаждение до температуры, не превышающей температуру окружающего воздуха производственного помещения на 6-8 С[5].

К недостаткам данного способа можно отнести большую энергоемкость проведения ГТО, большую длительность процесса, большие производственные площади, необходимые для осуществления данного способа.

Наконец, кратко остановимся на способе ГТО зерна гречихи, включающим операции гидросепарирования и увлажнения, отжим влаги из отходов, сушку отходов, подсушивание и предварительный подогрев зерна, пропаривание при мягких режимах и сушку зерна комбинированным кондуктивно-конвективным методом[4].

Недостатками этого способа является увеличение числа технологических операций ГТО, значительные затраты пара на пропаривание и сушку - до 0,3 кг пара на 1 кг продукта, значительный расход воздуха на сушку гречихи - 2,2 м³ воздуха на 1 кг продукта, потребность в больших производственных площадях из-за громоздкого оборудования.

В заключении необходимо отметить, что существующие способы проведения ГТО зерна гречихи имеют ряд серьезных недостатков: высокая энергоемкость процесса, необходимость применения пара высокого давления, значительная длительность технологических операций как при проведении ГТО, так и при реализации последующих операций (фракционирование, шелушение), относительно низкая производительность процесса, необходимость применения громоздкого и дорогостоящего оборудования, сравнительно низкий выход ядрицы (60-65 %).

Хорошие перспективы в устранении этих недостатков открывает способ ГТО зерна гречихи, разрабатываемый в ФГОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК» (г. Орел), суть которого сводится к воздействию высокотемпературной среды на зерно гречихи после его замачивания. В результате кондуктивно-конвективного нагрева в поле высоких температур, влага, находящаяся между оболочкой и ядрицей практически мгновенно превращается в пар, который ослабляет адгезионные силы сцепления оболочки с ядрицей, обеспечивает частичный срыв оболочки и одновременно пропаривает ядрицу. При этом остаточное тепло после нагревания обеспечивает частичную сушку ядрицы.

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. Анисимова, Л.В. Гидротермическая обработка зерна гречихи без использования пропаривания [Текст] / Л.В. Анисимова // Изв. вузов. Пищевая технология. - 2000. - № 5-6. - С.50-52.
2. Гафнер, Л.А. Основы технологии приема, хранения и переработки зерна [Текст] / Л.А. Гафнер, В.А. Бутковский, А.М. Родюкова. - М.: Колос, 1979. - 399 с.
3. Гринберг, Е.Н., Производство крупы [Текст] / Е.Н. Гринберг. - М.: Агропромиздат, 1986. - 103 с.
4. Каменский, В.Д. Новая технология переработки зерна гречихи в крупу [Текст] / В.Д. Каменский, М.Б. Бабич // Хранение и переработка зерна, №5, 1999. - С. 19-20.
5. Патент RU 2091162, МПК В02В1/08, опублик. 1997.
6. Патент RU 2261145, МПК В02В1/08, опублик. 2005.
7. Патент RU 2388539, МПК В02В1/08, опублик. 2010.
8. Рогов, И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов, С.В. Некрутаман. - М.: Агропромиздат, 1986. - 351 с.
9. Рогов, И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 272 с.
10. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства [Текст] / М.: Агропромиздат, 1989. - 464 с.

Карев Сергей Вячеславович
Аспирант
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: +7 (953) 617-61-32
E-mail: serban88@mail.ru

Камозин Леонид Михайлович
Кандидат технических наук, доцент
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: +7 (919) 265-98-95
E-mail: leonkam50@gmail.com

Ванин Владимир Семенович
кандидат технических наук, доцент,
ФГОУ ВПО «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс»
Тел: р. (4862) 54-16-85
д. (4862) 74-84-60

IMPROVING THE PROCESS OF PRODUCTION'S BUCKWHEAT

Hydrothermal treatment is one of the most important operations in the production of buckwheat grain. However, the improvement of the process is too slow. In this paper we consider various ways of hydrothermal treatment of buckwheat grain and analyzed.

Key words: hydrothermal treatment of grain; steaming of buckwheat; production of buckwheat grain.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Anisimova, L.V. Hydrothermal treatment of buckwheat without steaming [Text] / L.V. Anisimova // News of universities. Food technology. - 2000. - № 5-6. - Pp.50-52.
- [2] Gafner, L.A. Basics of reception, storage and processing of grain [Text] / L.A. Gafner. V.A. Butovsky, A.M. Rodukova. - M.: Kolos, 1979. - 399 p.
- [3] Grunberg, E.N., Production of cereals [Text] / E.N. Grunberg. - M.: Agropromizdat, 1986. - 103 p.
- [4] Kamenskiy, V.D. The new technology of processing buckwheat in groats [Text] / V.D. Kamenskiy, M.B. Babich // Grain storage and processing, №5, 1999. - Pp. 19-20.
- [5] Patent RU 2091162, IPC B02B1/08, published 1997.
- [6] Patent RU 2261145, IPC B02B1/08, published 2005.
- [7] Patent RU 2388539, IPC B02B1/08, published 2010.
- [8] Rogov, I.A., Nekrutman S.V. Microwave heating of food products [Text] / I.A. Rogov, S.V. Nekrutman. - M.: Agropromizdat, 1986. - 351 p.
- [9] Rogov, I.A. Electrophysical methods of food processing [Text] / I.A. Rogov. - M.: Agropromizdat, 1988. - 272 p.
- [10] Technology of flour, groats and mixed fodder production [Text] / M.: Agropromizdat, 1989. - 464 p.

Sergey Vyacheslavovich Karev
Graduate student
FSEI HVT «State University –
ESPC»,
«Processes and equipment for
food industry», Orel
Phone: +7 (953) 617-61-32
E-mail: serban88@mail.ru

Leonid Mixailovich Kamazin
Can. Sc. technical.,
FSEI HVT «State University –
ESPC»,
Associate Prof. of the department
«Machines and equipment for
food industry», Orel
Phone: +7 (919) 265-98-95
E-mail: leonkam50@gmail.com

Vladimir Semoylovich Vanin
Can. Sc. technical.,
FSEI HVT «State University – ESPC»,
Associate Prof. and Dean of the depart-
ment
«Machines and equipment for
food industry», Orel
Phone: w. (4862) 54-16-85 h. (4862)
74-84-60

УДК 004.915

В.И. АВЕРЧЕНКОВ, Е.В. ШКУМАТ, В.В. НАДУВАЕВ

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Рассмотрен обобщенный подход к проектированию контента электронных образовательных ресурсов (ЭОР) на основе формирования единой методологии обучения специальным техническим дисциплинам при широком использовании современных информационных технологий.

Ключевые слова: электронные образовательные ресурсы, проектирование ЭОР, формирование контента, визуализация объектов содержания.

В настоящее время существует множество методик разработки электронных образовательных ресурсов (ЭОР), которые, как правило, содержат общие рекомендации по построению структуры электронного курса, т.е. имеют рекомендательный характер. ГОСТ Р 52653-2006 «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения» вводит такое определение ЭОР: «Под электронным образовательным ресурсом понимается образовательный ресурс, представленный в цифровой форме и включающий в себя структуру, предметное содержание и метаданные о них, а также данные, информацию, программное обеспечение, необходимые для его использования в учебном процессе». В данном ГОСТе выделяются следующие виды обучения: электронное, мобильное, сетевое, автономное, смешанное, совместное. При этом дополнительно вводится понятие «образовательный контент», под которым понимается структурированное предметное содержание, используемое в образовательном процессе. В электронном обучении образовательный контент является основой электронного образовательного ресурса.

Электронные учебные ресурсы различной направленности, комплектности и применимости в учебном процессе могут иметь следующие формы (из опыта разработки и внедрения в вузах России):

- конспект лекций;
- учебное пособие;
- руководство по лабораторному практикуму;
- учебное пособие по циклу практических и семинарских занятий;
- демонстрационные презентации (слайд-лекции, лекционные и практические презентации и т.п.);
- методическое обеспечение и материалы для самостоятельной работы;
- организационно-методические указания по изучению дисциплины (обычно дублируются в бумажном виде);
- контрольно-измерительные материалы, вопросы для самопроверки и др.

Совокупность всех перечисленных материалов и их реализация в одном стиле может быть преобразована в электронный учебно-методический комплекс.

Определенный опыт создания ЭОР отражен в работах Л.Х. Зайнутдиновой [1], А.В. Соловова [2], А.В. Осина [3], И.П. Норенкова [4], В.В. Гура [5] и др.

В основу технологии формирования ЭОР, предлагаемой этими учеными, заложены психолого-педагогические требования, модели содержания и освоения материала, современные концепции информационно-образовательной среды и методика построения электронных образовательных ресурсов и т.д.

Особенностью ЭОР для специальных технических дисциплин [1; 6] является построение учебного процесса с опорой на теоретические знания, полученные при изучении физико-математических и общетехнических дисциплин, а также на практический опыт работы с реальными техническими устройствами и системами. Сложность обучения в этой области обусловлена огромной номенклатурой реальных технических систем и устройств. В этих условиях необходимо обеспечение понимания сущности происходящих процессов на базе изученных ранее теоретических основ для успешного усвоения основ проектирования, производства и эксплуатации целых классов реальных технических устройств и систем. Сложность формирования профессиональных компетенций у обучаемых зависит также от стоимости и уникальности требуемого лабораторного оборудования, сложности технологических процессов и их реализации в учебных заведениях.

Наиболее универсальный вид структуры ЭОР был представлен В.В.Гура (рисунок 1) [5].

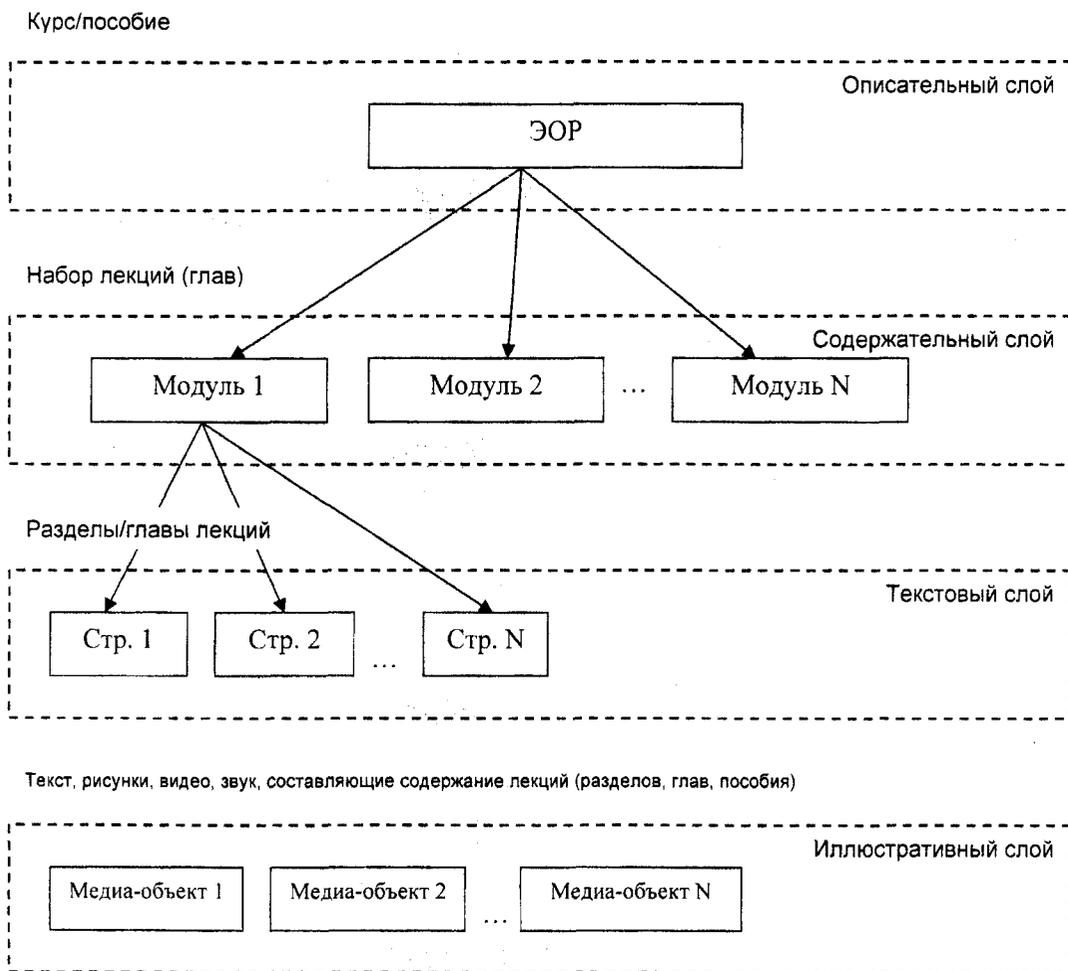


Рисунок 1 – Структурная схема электронного образовательного ресурса (ЭОР)

В данном случае основными компонентами создаваемого ресурса являются модули – относительно самостоятельные части учебной информации, по которым возможно осуществить как самопроверку, так и педагогическое тестирование знаний. Страницей считается логически самостоятельная часть учебного материала, входящая в модуль, которая состоит из медиа-ресурсов, разворачивающих учебный материал в логической последовательности,

предполагаемой автором - проектировщиком ЭОР. Медиа-ресурсом здесь является минимальная единица учебной информации различной модальности: текст, видео, изображение, звук, тест, гиперссылки, представляющие собой единицы медиа-текста. Модель содержания ЭОР, предлагаемая другими авторами [2] строится подобным образом.

Указанные особенности дисциплин цикла специальных дисциплин (СД) оказывают существенное влияние на формирование образовательного контента, который анализируется и определяется при создании электронных образовательных ресурсов.

Рассмотрим основной процесс разработки ЭОР. Так как электронный образовательный ресурс является информационной системой, то соответственно его жизненный цикл есть жизненный цикл информационной системы, представляющий собой непрерывный процесс, начинающийся с момента принятия решения о создании информационной системы и заканчивающийся в момент полного изъятия ее из эксплуатации (в данном случае - из процесса обучения).

С учетом необходимости постоянного обновления и совершенствования ЭОР может быть предложена спиралевидная модель жизненного цикла этого вида информационной системы (ИС) (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Спиральная модель
жизненного цикла ЭОР**

Спецификой разработки ЭОР на этапе завершения цикла является тестирование, внедрение в учебный процесс, оценка его эффективности и последующая корректировка, а также рецензирование и регистрация.

Оценка эффективности образовательных ресурсов и их корректировка проводятся, как правило, при помощи анкетирования контрольных групп студентов, при котором учитывается усваиваемость материала. На уровень усвоения материала влияет качество его передачи, доступность, наглядность и эргономичность ресурса.

Достижение эффективности ЭОР можно спрогнозировать на этапе анализа и проектирования системы путем проведения системного анализа при формировании исходных

требований и задач.

Основной задачей разработки ЭОР для специальных технических дисциплин является формирование профессиональных компетенций. Компетентностный подход предполагает технологичность учебного процесса, необходимую для достижения заданных целей при обучении. При технологическом способе достижения учебных целей выпускник представляется «продуктом», качество которого определяется качеством образования. Такой подход дает возможность на основе структуризации и параметризации критериев качества оценивать воздействие технологии обучения на подготовку инженеров [7].

Успешность процесса обучения во многом зависит от организации учебного материала. Если курс предназначен для обучения при интенсивном взаимодействии преподавателя и обучаемого, то и требования к организации такого курса, принципы отбора, организации и структурирования материала, обеспечения контроля будут определяться особенностями этого взаимодействия.

К качеству подготовки инженеров можно отнести следующие базовые понятия:

- технические знания – знания, обеспечивающие выпускнику технического вуза базовый квалификационный уровень знаний по специальности;
- функциональные знания – знания, дающие понимание политики, процедур, практики и функциональных взаимосвязей, оказывающих существенное влияние на эффективность работы производственных систем в целом;

– технические способности – способности, возникающие на фоне общечеловеческих (таких, как индивидуально-психологические характеристики), обеспечивающие успешность выполнения инженерных видов деятельности;

– инженерный тип мышления - разновидность конструктивного мышления с особенностями, обусловленными характером инженерной деятельности при присутствии продуктивного, когнитивного, аналитического, логического, креативного типов мышления, как его отдельных характеристик;

– инженерно-мыслящая личность – личность, обладающая инженерным типом мышления и сформированными в процессе подготовки личностными качествами, позволяющими ей профессионально реализовываться в производственной системе управления;

– профессионализм – способность реализовывать профессиональную готовность в конкретной специальности на уровне своей компетентности, приобретаемая личностью в процессе профессиональной деятельности и доведенная до автоматизма.

С учетом этих требований на этапе анализа должны решаться следующие задачи:

– систематизация основных недостающих знаний;

– оценка недостаточной глубины усвоения материалов вводных общетехнических дисциплин, недостаточной интегрированности знаний дисциплин цикла ОПД в цикл СД;

– учет разнообразия и сложности междисциплинарных связей;

– использование опыта других вузов в обучении дисциплин цикла СД.

Решение данных задач способно обеспечить создание ресурса на первом витке спирали жизненного цикла ИС (для новых курсов).

Для развития ресурса на втором и последующих этапах, а также для разработки ЭОР по уже преподаваемым дисциплинам можно использовать данные системы менеджмента качества вуза, где на различных этапах проводится оценка качества подготовки специалистов (рисунок 3).

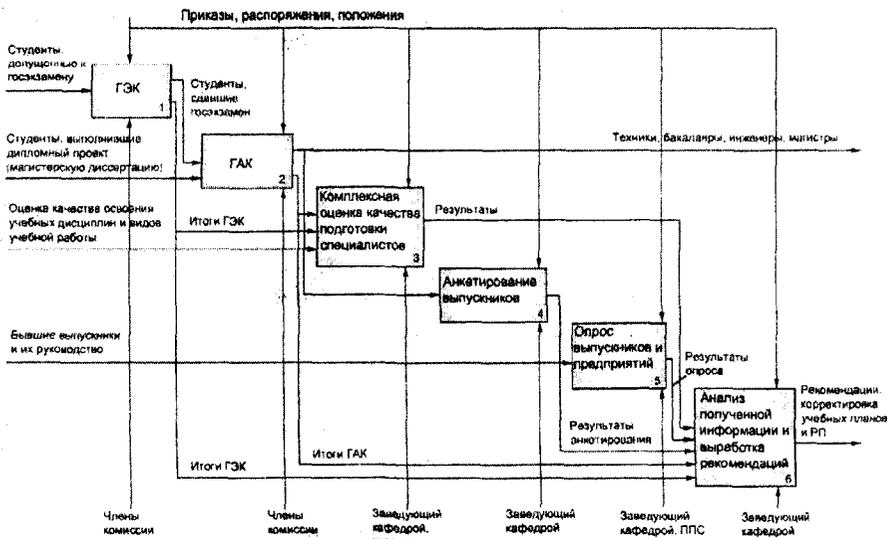


Рисунок 3 – Процесс контроля качества подготовки специалистов

При контроле качества подготовки специалистов оценивается усвоение учебных дисциплин с использованием результатов ГЭК и ГЭК. Также проводится анкетирование выпускников и анализ отзывов предприятий об их работе, что позволяет осуществить комплексную оценку подготовки специалистов.

Для выполнения анализа и завершения предпроектных работ должны использоваться все перечисленные данные. Кроме того, необходимо проведение работ по систематизации

опыта преподавателей в данной области, что определит наиболее сложные для усвоения темы и потребует проработки системы их визуального отображения.

Поскольку, как уже было отмечено, дисциплинам цикла СД присуща интегративность знаний, то необходимо учитывать формирование научных понятий на междисциплинарной основе при обязательном рассмотрении следующих вопросов:

1. Согласованность во времени изучения отдельных учебных дисциплин, при которой каждая из них опирается на предшествующую понятийную базу и готовит обучаемых к успешному усвоению понятий последующей дисциплины.

2. Необходимость обеспечения преемственности и непрерывности в развитии понятий. Понятия, являющиеся общими для ряда дисциплин, должны от дисциплины к дисциплине непрерывно развиваться, наполняться новым содержанием, обогащаться новыми связями.

3. Единство в интерпретации общенаучных понятий.

4. Исключение дублирования одних и тех же понятий при изучении различных предметов.

5. Осуществление единого подхода к раскрытию одинаковых классов понятий.

Широкое использование ЭОР создает возможности для применения новых информационных технологий при отображении различных моделей сложных объектов с учетом взаимосвязей законов и явлений междисциплинарного характера, а также обеспечивает творческий подход.

В блоке разработки необходимо особое внимание уделить процессу формирования образовательного контента в соответствии с образовательным стандартом.

Как правило, в существующих методиках используется модульная система представления материала. Модуль имеет неопределенный объем и может быть приравнен к теме, параграфу или подразделу дисциплины.

Темы могут быть разными по объему, сопровождаться различным числом графических интерпретаций, и для обновления приходится полностью изменять существующий материал, что создает проблемы при его последующей корректировке. В качестве примера можно привести разделы, посвященные современным достижениям науки и техники и перспективам их развития. Данные разделы наиболее быстро морально устаревают и могут подвергаться коррекции на этапах проектирования, тестирования и отладки, что может замедлить введение создаваемого ресурса в эксплуатацию, а соответственно и увеличить время на его разработку или понизить его эффективность в обеспечении учебного процесса.

Данную проблему можно решить путем уменьшения объема модуля и придания ему размерности термина (определения). При этом увеличится его универсальность, упростится процесс замены, а также появится возможность многократного использования созданного объекта в разнообразных комплексах.

Рассмотрим специфику терминологии в рамках технологии обучения специальным техническим дисциплинам. Учебный материал по общетехническим и специальным учебным дисциплинам машиностроительного профиля представляет собой систему научно-технических понятий и специальных сведений в виде научных фактов, теорий, законов и гипотез, отобранных из соответствующих базовых наук, связанных с развитием техники, технологий производств и производственной деятельности людей. Систему технических понятий в этом случае можно рассматривать как скоординированное множество, в котором они находятся в определенных отношениях друг с другом, образуя тем самым целостность, единство суждений об изучаемом объекте.

На выборку технических понятий влияют следующие факторы: требования к формированию профессиональных компетенций, педагогические принципы разработки ЭОР (наглядность, научность, доступность, системность и т.п.). Также при использовании понятия в качестве модуля упрощается формирование его визуальной концепции, т.е. визуализация. В данном случае под термином «визуализация» понимается представление понятия в графиче-

ской форме. Технические понятия могут принадлежать и использоваться как группой общепрофессиональных дисциплин (ОПД), так и группой специальных дисциплин (СД).

Таким образом, взаимосвязь определений, тем и дисциплин может быть представлена в виде схем, показанных на рисунках 4, 5.

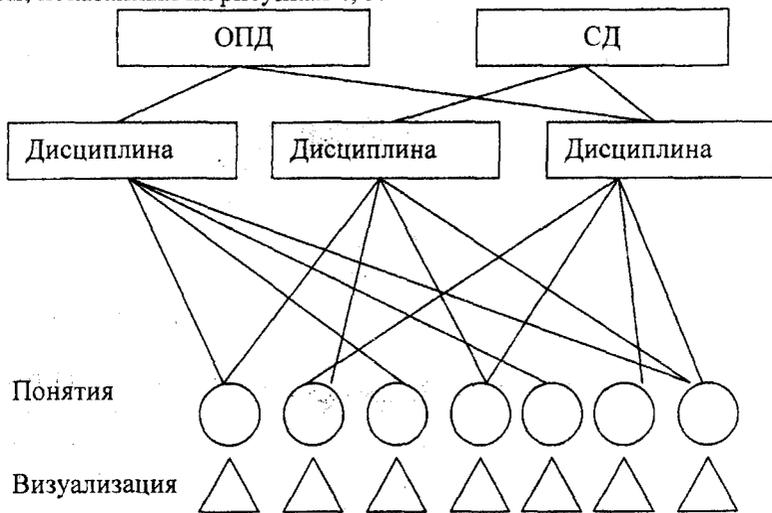


Рисунок 4 – Схема взаимосвязи понятий и соответствующей им визуализации по дисциплинам циклов ОПД и СД

Под техническим понятием, согласно теории проектирования технологии обучения,

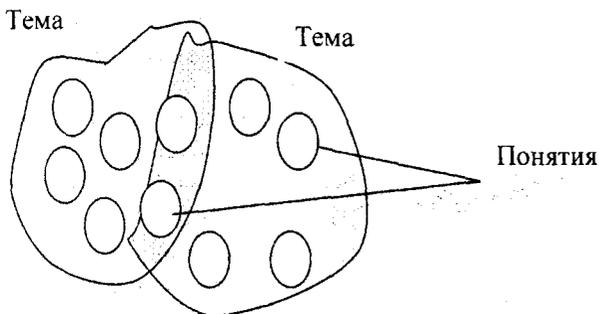


Рисунок 5 – Возможные области распределения определений по темам одного цикла или между темами различных циклов

понимается обобщенная форма отражения физических, механических и технологических объектов, технических, физических, механических и технологических процессов и явлений посредством фиксации их общих и специфических признаков, свойств и характеристик. В качестве исходных понятий выступают термины, с помощью которых описываются [6]:

– технические объекты, например механизмы машин, металлорежущие станки и мерительный инструмент, технологическая оснастка;

- технологические процессы обработки деталей машин, сборки, испытания и ремонта;
- различные явления – механические, технологические, физические;
- конструкционные и инструментальные материалы;
- свойства и признаки технических объектов, явлений и процессов и т.д.

Ввиду сложности визуализации технических понятий можно предусмотреть следующие ее формы: простые: схема, рисунок, фото, график, формула, диаграмма, таблица; сложные: 2d-модель, видео, анимация, имитационная модель, 3D-модель.

При проработке на уровне проектирования формы визуализации понятия были сформированы сценарии-задания для специалистов в области мультимедиа, что существенно сократило время на разработку ЭОР. Комплект «понятие-визуализация» становится универсальным элементом создаваемой системы знаний и может быть использован как во всех видах образовательных ресурсов (электронный учебник, конспект лекций, практикум, информационно-справочная система и т.п.), так и при формировании наглядного сопровождения (презентации) всех типов занятий.

При выборке технических понятий, составляющих основу ЭОР, необходимо критично подойти к выбору источников исходных данных. Основой для выбора является государственный образовательный стандарт, а источниками исходных данных могут служить учебная литература, справочные и методические материалы, статьи в периодических изданиях и т.п., которые могут находиться как в бумажном, так и в электронном виде. Совокупность этих источников можно считать распределенными источниками информации, для которых может применяться методика критериального отбора с выбором части, наиболее полно отвечающей поставленной задаче. В качестве критериев выборки использовались актуальность материала, качество и глубина его изложения, новизна, возможность использования для теоретических и практических курсов, соблюдение стандартов, качество графического материала, грамотность изложения и научно-технический уровень.

Возможно также создание банка данных о применимости распределенных информационных источников при проектировании ЭОР.

Таким образом, был сформирован общий алгоритм проектирования содержательной части (рисунок 6).

Посредством предлагаемого подхода к проектированию содержательной части учебного материала формируется методика отбора и унификации понятий, а также реализуется системный подход к используемой информации. В результате анализа, проведенного на предпроектном этапе, уменьшается время на тестирование и отладку уже готового образовательного ресурса.

На этапе предпроектной подготовки для новых курсов необходимо проводить предварительный анализ исходной информации, который включает: систематизацию опыта преподавателей, оценку достаточности глубины усвоения материалов вводных общетехнических дисциплин, достаточности интегрированности знаний дисциплин цикла ОПД в цикл СД, учет разнообразия и сложности междисциплинарных связей, а также использование опыта других вузов. При корректировке ресурса помимо перечисленных вопросов учитываются результаты контроля качества подготовки специалиста, получаемые в ходе работы системы менеджмента качества учебного заведения.

На этапе анализа распределенных источников информации выделяются основные группы источников, которые содержат необходимую для обучения информацию. К ним относятся: бумажные источники различного рода, такие, как учебные и учебно-методические пособия, методические указания, статьи, а также источники, имеющие и не имеющие бумажных аналогов, находящиеся в Интернете. Выборка из множества источников ведется с помощью экспертной оценки по указанным ранее ограничениям с учетом года издания, известности коллектива авторов и др. В таком случае выборка принимает следующий вид:

$$R = \sum w_i r_i, \quad (1)$$

где r_i - оценка распределенного источника по i -му критерию; w_i - вес i -го критерия.

Выделение базовых смысловых единиц определяется государственным образовательным стандартом и учитывает междисциплинарные связи. На данном этапе возможна унификация (или развитие) понятий, используемых на уровне СД, с учетом циклов ЕН и ОПД.

Отбор понятий ведется с учетом наибольшего соответствия целям учебного процесса, т.е. с учетом педагогических принципов и формирования профессиональной компетентности. В качестве основного принципа выделяется системность, требуемая обоими видами ограничений. Сравнивая попарно противоположные допущения, например научность и доступность, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 0, p_i \notin AB; \\ P = 0,5, p_i \in AB; \\ 1, p_i = A, p_i = B, \end{cases} \quad (2)$$

где P – множество соответствующих выборке понятий; p_i - рассматриваемые понятия; AB – отрезок, ограничивающий рассматриваемые понятия.

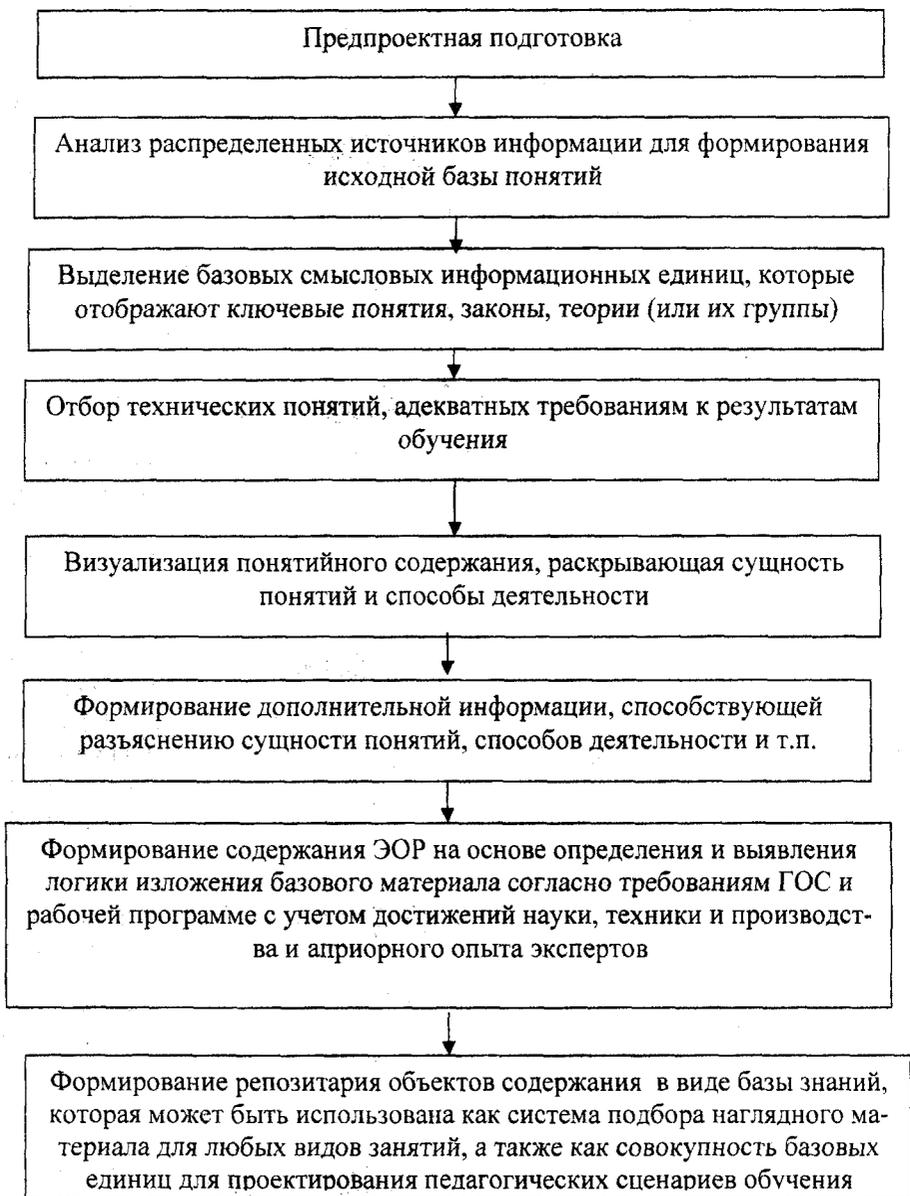


Рисунок 6 – Алгоритм проектирования содержательной части ЭОР

После того как основные понятия выбраны, необходимо подобрать каждому из них соответствующую форму визуализации. Подготовка к формированию визуального ряда позволит создать исходный сценарий для реализации идеи в виде перечисленных форм, а также оценить рациональность создания сложных имитационных моделей и анимации. Эта задача базируется на данных этапа предпроектной подготовки, поскольку зависит не только от профессиональных компетенций, но и от проблем с усвоением материала и формирования целостных представлений о техническом объекте. Дополнительная информация носит описательный характер, связывает визуальный компонент с определением, формируется в зависимости от специфики предмета цикла СД.

Определения и сопутствующая им визуализация, а также дополнительная информация заносятся в базу знаний и сопровождаются стандартным описанием. При формировании базы знаний необходимо предусмотреть рекомендации по использованию включенных в нее

объектов в учебном процессе с учетом его специфики, а также с учетом междисциплинарных связей (возможна трансформация в советующую систему). Основы формирования репозитория в виде базы знаний соответствуют существующим стандартам электронного обучения.

По предложенному алгоритму формирования контента разрабатываются отдельные программные модули, которые планируется объединить в программный комплекс для обеспечения поддержки проектирования ЭОР.

Разработка и использование ЭОР в техническом вузе позволяет фиксировать и сохранять знания наиболее опытных преподавателей, а также создать предпосылки для повышения эффективности обучения за счет введения в образовательный процесс элементов интерактивности и мультимедиа.

Электронные образовательные ресурсы потенциально позволяют сократить объем обязательных занятий, проводимых в аудиториях и лабораториях вуза, без потери качества обучения. В то же время этот потенциал может реализовываться только в случае высокой мотивации студентов к приобретению знаний и их умения выполнять учебную работу самостоятельно. Доступ к ЭОР становится особенно важным на старших курсах, когда многие студенты сочетают учебу с работой.

Современные информационные технологии в ряде случаев позволяют сокращать время создания электронных образовательных ресурсов по сравнению с традиционными образовательными ресурсами, в то же время существенно удлиняя их жизненный цикл благодаря возможности оперативного внесения дополнений и изменений не только в процессе разработки ЭОР, но и при их применении в учебном процессе [8].

Рассмотренный подход не противоречит ранее разработанным концепциям (рисунок 1), а расширяет и дополняет методику работы с контентом, а также учитывает современные тенденции формирования компетентности, влияние международных и разрабатываемых стандартов электронного обучения. Предлагаемая концепция подготовки контента не зависит от условия выбора среды (оболочки) ЭОР, она достаточно универсальна и позволяет формировать на дальнейших этапах разработки педагогические сценарии для любого вида обучения.

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. Зайнутдинова, Л.Х. Создание и применение электронных учебников (на примере общетехнических дисциплин) [Текст] : монография / Л.Х. Зайнутдинова. – Астрахань: ЦНТЭП, 1999. – 278 с.
2. Краснова, Г.А. Технология создания электронных обучающих средств [Текст] / Г.А.Краснова, А.В.Соловов, М.И.Беляев. - М.: МГИУ, 2002. – 157 с.
3. Осин, А.В. Мультимедиа в образовании: контекст информатизации [Текст] / А.В. Осин. - М.: Издательский сервис, 2004. – 186 с.
4. Норенков, И.П. Информационно-образовательные среды на базе онтологического подхода [Текст] / И.П.Норенков, М.Ю.Уваров // Интернет-порталы: содержание и технологии: сб.науч.ст. / редкол.: А.Н. Тихонов (пред.) [и др.]; ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика». - М.: Просвещение, 2005. Вып.3, с. 137 – 149.
5. Гура, В.В. Теоретические основы педагогического проектирования личностно-ориентированных электронных образовательных ресурсов и сред [Текст] : автореф. дис.....д-ра. пед. наук / В.В.Гура.- Ростов н/ Д, 2007. – 30 с.
6. Радченко, А.К. Проектирование технологии обучения техническим дисциплинам [Текст]: учеб.пособие / А.К.Радченко. - Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003. – 105 с.
7. Образцов, П.И. Дидактика высшей школы [Текст] : учеб. пособие / П.И.Образцов, В.М. Косухин. – Орел: Академия спецсвязи России, 2004. – 165 с.
8. Аверченков, В.И. Методика проектирования содержательной части электронных образовательных ресурсов для специальных технических дисциплин [Текст] / В.И. Аверченков, Е.В. Шкумат, В.В. Надуваев. – Брянск: Вестник БГТУ, 2009. Вып. 3, с. 125 – 134.

Владимир Иванович Аверченков
Брянский государственный техни-
ческий университет, г. Брянск
Доктор технических наук, зав. ка-
федрой «КТС», профессор (БГТУ)
Тел. (4832) 56-40-90
E-mail: aver@tu-bryansk.ru

Елена Владимировна Шкумат
Брянский государственный техни-
ческий университет, г. Брянск
Старший преподаватель кафедры
«КТС» (БГТУ)
Тел. (4832) 58-82-06
E-mail: staff@tu-bryansk.ru

Владимир Васильевич Надуваев
Брянский государственный техни-
ческий университет, г. Брянск
Кандидат технических наук, до-
цент кафедры «ТМ» (БГТУ)
Тел. (4832) 58-82-20
E-mail: atali12@rambler.ru

V.I. AVERCHENKOV, E.V. SHKUMAT, V.V. NADUVAEV

METHODOLOGY OF CREATION OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES ON SPECIAL TECHNICAL DISCIPLINES

The paper studies the generalized approach to designing the content of educational electronic resources on the basis of forming integrated methodology of instruction in special technical disciplines with the wide use of modern information technologies and educational resources.

Keywords: *electronic educational resources (EER), designing EER.*

- [1] Zainutdinova, L.H. Creation and application of electronic textbooks (on an example technical disciplines) [Text] : L.H.Zainutdinova's monography/. - Astrakhan: CNTEP, 1999. - 278 p.
- [2] Krasnov, G.A. Tehnologija of creation of electronic training means [Text] / of G.A.Krasnova, A.V.Solovov, M.I.Beljaev. - M: MGIU, 2002. - 157 p.
- [3] Aspens, A.V. Multimedia in formation: a context of information [Text] / A.V.Aspen. - M: Publishing service, 2004. - 186 p.
- [4] Norenkov, I.P. Information of environment on the basis of ontologic podho-yes [Text] / I.P.Norenkov, M.J.Uvarov // Internet portals: the maintenance and technologies: sb.nauch.st./редкол.: A.N. - is new (before.) [etc.]; FGU GNII ITT of "Informika". - M: Education, 2005. - Release 3. - Pp. 137 - 149.
- [5] Gura, V. Century of Century Theoretical bases of pedagogical designing of the lichnostno-focused electronic educational resources and environments [Text] : abstract D-d/century V.Gura. - Rostov n/D, 2007. - 30 p.
- [6] Radchenko, A.K. Designing of technology of training to technical disciplines [Text] : ucheb. posobie / A.K.Radchenko. - Minsk: Adukaciya i vihavanje, 2003. - 105 p.
- [7] Samples, P.I. Didaktika of the higher school: ucheb.posobie/P.I.Obraztsov, V.M.Kosuhin [Text] / P.I. Samples. - Oryol: Aka-demiya connection Russia, 2004. - 165 p.
- [8] Averchenkov, V.I. Metodika of designing of a substantial part of electronic educational resources for special technical disciplines [Text] / V.I.Averchenkov, E.V.Shkumat, V.V.Naduvaev. - Bryansk: Bulletin BSTU, 2009. Release 3. - Pp. 125 - 134.

Vladimir Ivanovich Averchenkov
Bryansk state technical university,
Bryansk
Dr.Sci.Tech., the manager. Chair "
Computer technologies and systems",
the professor (BSTU)
Ph. (4832) 56-40-90
E-mail: aver@tu-bryansk.ru

Elena Vladimirovna Shkumat
Bryansk state technical university,
Bryansk
The senior teacher кафедры " Com-
puter technologies and systems "
(BSTU)
Ph. (4832) 58-82-06
E-mail: staff@tu-bryansk.ru

Vladimir Vasilevich Naduvaev
Bryansk state technical university,
Bryansk
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of
chair " Technology of mechanical
engineering " (BSTU)
Ph. (4832) 58-82-20
E-mail: atali12@rambler.ru

УДК 378.1

А.С. ВАСИЛЬЕВ, Е.В. ВИНОКУРОВА, А.Л. ГАЛИНОВСКИЙ

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНТРОВ СЕРТИФИКАЦИИ КАДРОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В статье рассматриваются вопросы создания центров сертификации кадров инженерно-технического профиля, базирующихся на идее оценки их качества подготовки в соответствии с требованиями работодателей из числа предприятий машиностроения, входящих в Союз машиностроителей России

Ключевые слова: *сертификация кадров, оценка компетенций, квалификация специалиста, машиностроение*

ВВЕДЕНИЕ

Современная система подготовки инженерных кадров функционирует в условиях рас-согласованности рынка труда и рынка образовательных услуг. Об этом свидетельствует не-соответствие требований предъявляемых работодателями к уровню и качеству подготовки специалистов в системе высшего профессионального образования инженерно-технического профиля. Вместе с тем мировые и европейские тенденции развития общества, интенсивное совершенствование техники и технологии порождают все новые требования к качеству про-фессионального образования и личности специалиста. Помимо этого, для высшей техниче-ской школы при любых условиях характерна тенденция к модернизации, связанная с необ-ходимостью соответствия качества подготовки инженеров уровню достижений научно-технического прогресса. Таким образом, социальный заказ на подготовку инженерных кад-ров системой высшего профессионального образования диктует особые требования к уровню и качеству подготовки. Это определяет необходимость осознания того, что проблема подго-товки современных высококвалифицированных кадров, ориентированных на машинострои-тельный сектор производства, в условиях развития рыночных отношений и модернизации экономики становится все более актуальной.

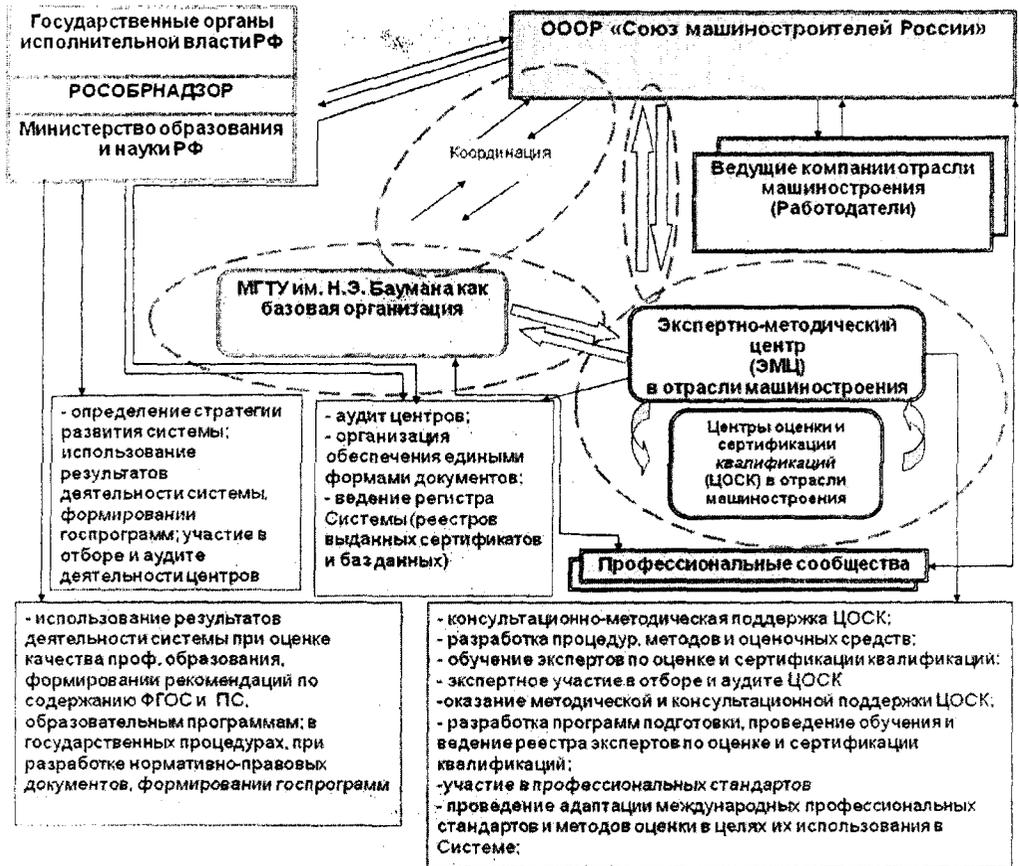
Анализ литературных источников показал, что несмотря на существенное число ра-бот, связанных с вопросами управления качеством образования, взаимодействия системы образования и рынка труда, и других вопросов проблема сертификации кадров, как элемента управления качеством образования и социального управления, затронута не была. Поэтому требуется разработать комплекс теоретических, методологических, методических и практи-ческих вопросов, связанных со становлением, развитием и управлением процессом сертифи-кации инженерных кадров ориентированных на машиностроительную отрасль.

Кроме того, необходима разработка подходов, обеспечивающих получение актуаль-ной достоверной информации об индивидуальных образовательных достижениях выпускни-ков с позиции и в интересах представителей работодателей, а также самих выпускников, го-сударства и других заинтересованных сторон.

Важнейшей задачей при создании системы сертификации является глубокая интегра-ция потенциала и кооперация профильных учебных заведений системы высшего профессио-нального образования и предприятий машиностроения, задействованных в работах по созда-нию и реализации концепции сертификации выпускников и специалистов [1]. Именно тесное взаимодействие государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования и промышленных предприятий позволит достичь высоких результатов в созда-нии всех элементов сертификационного комплекса, начиная от разработки компетентност-ных моделей выпускников на основе требований работодателя и заканчивая созданием сис-темы сертификационных измерений и оценочных средств(рисунок 1).

Для успешного достижения цели – создания системы отраслевой сертификации, требуется решить следующие задачи:

- 1) Провести анализ существующих исследований, связанных с ситуацией на рынке труда в машиностроительной отрасли, оценить потребности в кадрах и их уровне профес-сиональной подготовки;
- 2) Рассмотреть вопросы организации построения системы сертификации за рубежом в машиностроительной и других отраслях;
- 3) Изучить основные тенденции, механизмы и принципы взаимодействия учебных заведений, работодателей и органов управления образованием;
- 4) Структурировать состав основных базовых элементов системы сертификации, по-строить алгоритмы функционирования и механизмы взаимодействия.
- 5) Разработать комплекс оценочных средств и измерительных материалов для опре-деления уровня подготовки современных выпускников технических вузов, сформировать ме-тодику апробации на примере наиболее востребованных направлений и специальностей.



-  - Информационное взаимодействие внутри системы сертификации
-  - Описание исполняемой функции

Рисунок 1 – Схема построения системы сертификации, внешнего и внутреннего взаимодействия

В результате решения данных задач станет возможным использовать актуальную и достоверную информацию об индивидуальных результатах сертификации выпускников и специалистов, что приведет к повышению качества профессионального образования и результативности трудоустройства кадров по специальности, улучшит качественно-количественные показатели эффективности подбора кадровых ресурсов на предприятиях машиностроительной отрасли. Следовательно сертификация выпускников и специалистов может стать ведущим фактором совершенствования высшего профессионального образования и смежных с ним социальных институтов [2].

Для обеспечения достоверности и качества полученных результатов сертификации необходимо с общих научно-методических позиций подойти к решению вопросов формированию системы оценки выпускника вуза при идентификации компетенций. Важнейшим этапом идентификации является описание требований к оценке компетентности кандидата в условиях прохождения процедуры сертификации. Данные требования могут относиться к содержанию измерительных материалов, методике проведения испытаний, организационным вопросам и т.д.

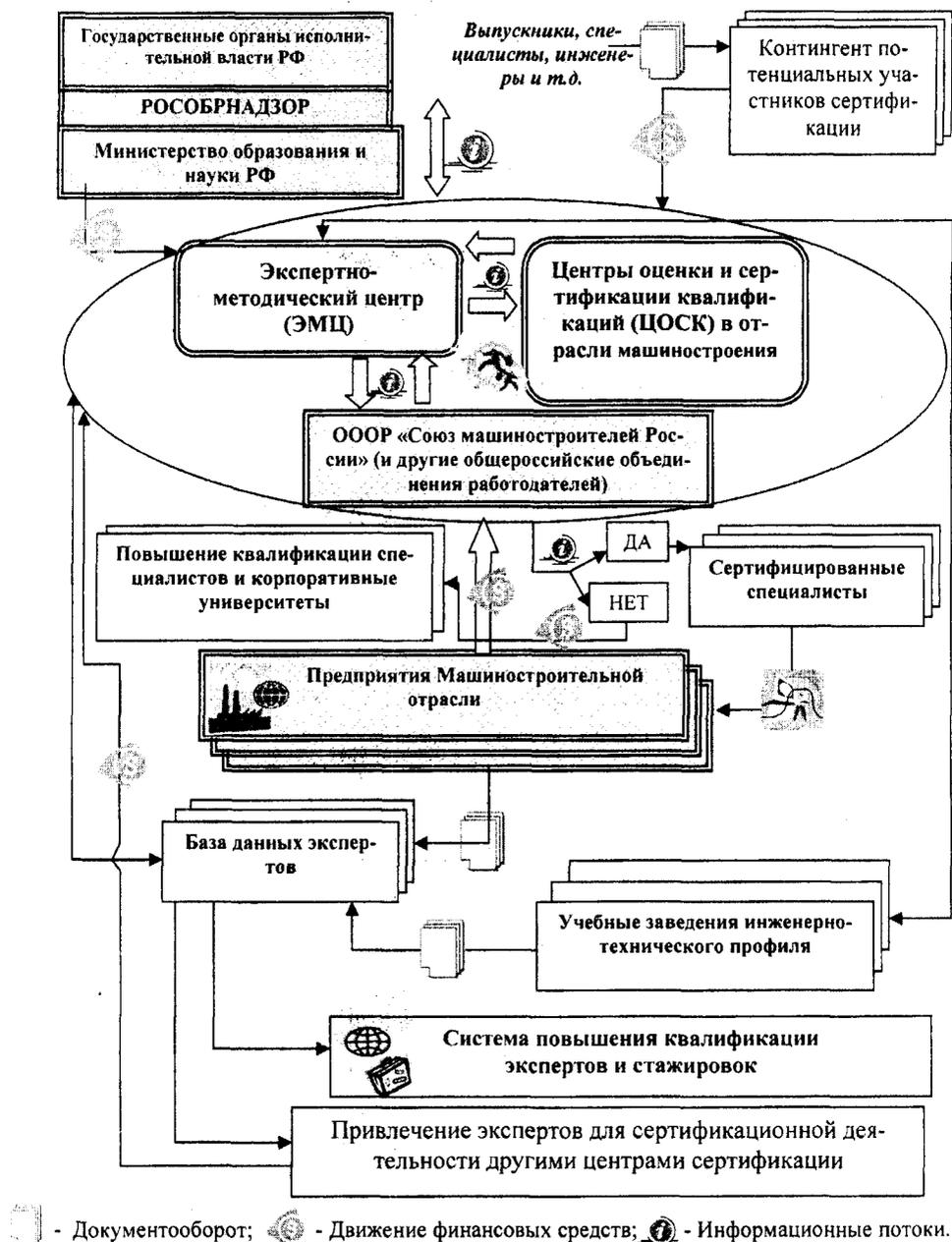


Рисунок 2– Схема бизнес процессов в системе сертификации

Процесс взаимодействия потенциальных участников сертификации, системы образования, сертификационных центров и рынка труда наделен чертами периодичности, цикличности и ориентирован на долговременную перспективу (рисунок 2). Данные особенности связаны с рядом факторов, в частности временем действия нормативных и законодательных документов, периодичностью выпуска студентов, временем их подготовки, продолжительностью проведения сертификационных мероприятий и обработки данных сертификации, этапами передачи информации органам управления образованием, работодателям и т.д. В каждом конкретном случае сотрудничество рассматриваемых сторон регламентировано индивидуальным образом на основании заключаемых договоров и соглашений, другими юридическими документами. Сложность построения этих связей и взаимодействий требует создания стратегического организационно-управленческого механизма (СОУМ), в процессе подготовки кадров, прежде всего на заключительных этапах обучения и их сертификации на соответ-

ствии требованиям работодателя. При этом данный механизм должен обеспечивать не только формирование базы требований предъявляемых к сертифицируемым лицам, но и обеспечивать совершенствование содержания образования, отслеживая изменения рыночных потребностей, тенденции развития отрасли и т.д. В частности необходимым является создание процедур модернизации учебных планов, развитие личностных и профессиональных качеств, введение новых дисциплин и специальностей в систему подготовки специалистов. Задачами указанного механизма являются:

- 6) Развитие кадрового потенциала конкретного региона с должным уровнем, профилем подготовки, численностью специалистов;
- 7) Упрощение процедур трудоустройства на предприятия и организации, отвечающие требованиям соискателей рабочих мест;
- 8) Осуществление обратной связи от системы сертификации и работодателей в сторону системы образования в части наполнения учебных программ и дисциплин современным содержанием;
- 9) Уменьшение времени на адаптацию специалиста на рабочем месте, минимизация работы по «доводке» специалиста до уровня требований предприятия;
- 10) Обеспечение взаимной выгоды сотрудничества участвующих сторон: Министерства образования и науки РФ, работодателей, объединяющих работодателей корпораций, систему сертификации кадров, учебные заведения и т.д.;
- 11) Независимая оценка качества специалистов за счет реализации процедур сертификации, в том числе анализ совокупности компетенций и характеристик человека, способных удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

Разработка и реализация СОУМ предполагает разработку инструментария для решения следующих основных задач:

- 1) Построение системы оценки уровня подготовки специалистов в соответствии с требованиями работодателя;
- 2) Построение модели независимого контроля уровня качества подготовки специалистов;
- 3) Разработку методики корректировки компетентностных и личностных характеристики специалиста с учетом требований рынка труда;
- 4) Разработку методики модернизации содержания образования: учебных планов, рабочих программ в соответствии с требованиями рынка труда.

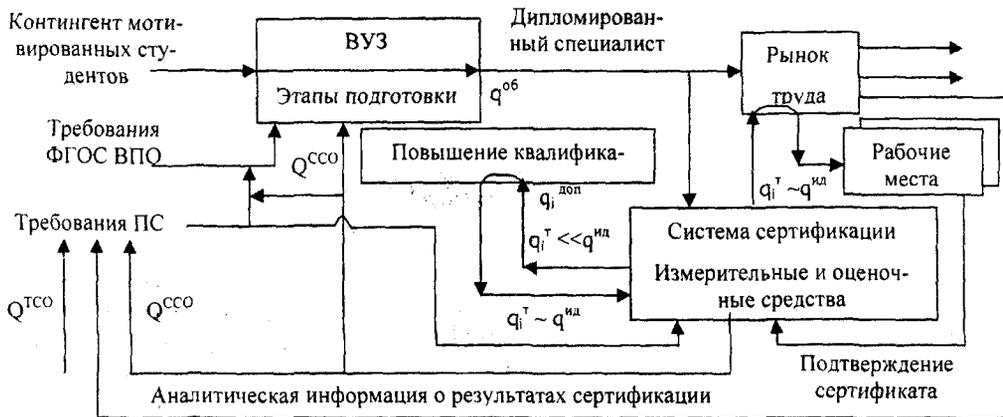


Рисунок 3– Предлагаемый вариант СОУМ

Необходимо учитывать, что для разработки инструментария необходимо не только качественное, но и количественное описание функций СОУМ на базе системного подхода к решению такого рода задач [3]. В предлагаемой СОУМ (рисунок 3) в результате внедрения системы сертификации, построенной на основе требований Профессиональных стандартов

(ПС) (при их создании), цель и задачи подготовки, ее содержание и структура будут формироваться с учетом данных о результатах сертификации (на основе численных значений о реальном и «идеальном» уровне компетенций соискателя), их анализа, статистической, качественной и количественной характеристик.

На рисунке 3 принято, что $q^{об}$ - качество подготовки специалиста в вузе, $q^{ид}$ - «идеальный» уровень подготовки специалиста, $Q^{ССО}$ - структура и содержание инженерного образования, $Q^{ТСО}$ - уровень квалификации профессорско-преподавательского состава, $q_i^{дон}$ - дополнительная подготовка, q_i^T - реальное (текущее) состояние обучаемого по результатам сертификации.

Реализация предлагаемого варианта СОУМ позволит работодателям иметь возможность независимой оценки качества подготовки студентов и влияния на образовательный процесс посредством модернизации и наполнения учебных программ. Важным преимуществом сертификации станут данные о реальном уровне содержания модели специалиста - его своеобразный образ-портфолио, который позволит отделам кадров предприятий принимать взвешенные решения о трудоустройстве специалиста на конкретную вакантную позицию с учетом его профессиональных ориентиров и пожеланий, например на технологическую, проектную или конструкторскую должности.

Согласно схеме (рисунок 3) можно говорить, что образ-портфолио специалиста в варианте $q^{ид}$ является целью образования, поэтому необходимо определять уровень квалификации специалиста и на его основе принимать управленческие и организационные решения о необходимости развития компетенций, путем модернизации содержания нормативно-законодательной базы, в частности ФГОС ВПО и ПС, а также совершенствуя $Q^{ТСО}$ и $Q^{ССО}$.

ВЫВОД

История сертификации в России насчитывает около двадцати лет. Согласно существующим нормам добровольная сертификация осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. В данном случае добровольная сертификация осуществляется для установления соответствия требований работодателей и, по сути, является признаком рыночных отношений и развивающегося гражданского общества в нашей стране. Несмотря на наличие достаточно большого опыта проведения сертификации в России, в том числе под эгидой крупных международных компаний, сертификация инженерных кадров является по-своему уникальным прецедентом, реализованным впервые Объединенной авиастроительной корпорацией «ОАК» в 2010 году [4]. Полученный опыт этой корпорации послужил основой для формирования ряда государственных контрактов по отраслям знаний в частности ГК «Разработка и апробация моделей центров сертификации профессиональных квалификаций и экспертно-методического центра в отрасли машиностроения» реализуемого ОООР «Союз Машиностроителей России» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана. Таким образом, был дан старт для начала реализации данной процедуры на практике и создания пилотной, теоретической, методической и организационно-технической базы сертификации в машиностроительной отрасли.

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. Галиновский, А.Л. Взаимодействие с работодателями, стратегическими партнерами, учебными заведениями технического профиля [Текст] / А.Л. Галиновский, Д.Г. Семиразмов, Е.В. Винокурова // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Российское образование в 21 веке: проблемы и перспективы» 13-14 ноября 2009 г. - Изд-во Томского университета. – Томск, 2009. - С.63-67.
2. Винокурова, Е.В. Перспективы реализации концепции сертификации инженерных кадров. [Текст] / Е. В. Винокурова, А.Л. Галиновский, М.В. Зосимов // Производственная инфраструктура: экономические, технико-технологические, организационно-управленческие и информационные аспекты. Материалы Всероссий-

ской научно-практической конференции (Кострома, 27-28 мая 2011 г.).-Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова. - 2011. - С.60-69.

3. Галиновский, А.Л., Винокурова Е.В., Пудалова Е.И. Перспективы развития системы оценки качества подготовки выпускников технических вузов [Текст] / А.Л. Галиновский, Е. В. Винокурова, Е.И. Пудалова // IV Международная научная заочная конференция «Актуальные вопросы современной психологии и педагогики» 21 августа 2010. - Липецк.: Изд-во «Де-фактор». - С.102-103.

4. Галиновский, А.Л. Перспективы формирования системы сертификации кадров для авиастроительной отрасли [Текст] / А.Л. Галиновский, Е.И. Пудалова // Российское образование в 21 веке: проблемы и перспективы: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции (18-19 ноября 2011 г.). - Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2011.- С.158-161.

Александр Сергеевич Васильев

Доктор технических наук, профессор

Заведующий кафедрой «Технологии машиностроения» ФГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Тел: (499)263-65-08

E-mail: vas@bmstu.ru

Андрей Леонидович Галиновский

Доктор педагогических наук, кандидат технических наук,

Профессор ФГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Тел: (499) 263-65-96

E-mail: galcomputer@mail.ru

Евгения Вячеславовна Винокурова

Директор научно-методического центра «Инженерное образование»

ФГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Тел: (499) 263-62-12

E-mail: mgtu@rambler.ru

A.A. BARZAKH, A.L. GALINOVSKY, N.K. LITVIN, M.V. HAFIZ

**PREPARATION OF LIQUID SUSPENSIONS USING
ULTRA-JET TECHNOLOGY**

The article discusses how to obtain micro-and nanosuspensions using ultra-jet technology.

The applied method allows to combine the activated liquid and an introduction to her micro particles of different materials.

Keywords: *micro slurryfication, ultra-jet technology, particle material, the target, the activation*

BIBLIOGRAPHY

[1] Galinovsky, A.L. Interaction with employers, strategic partners, educational institutions, technical profile [Text] / A.L. Galinovsky, D.G. Semirazumov, E.V. Vinokurov // Proceedings of the IV All-Russian scientific-practical conference "Russian education in the 21st century: problems and prospects" on 13-14 November 2009, Tomsk State University.-2009.- Pp.63.-67.

[2] Vinokurov, E.V. Prospects for implementing the concept of certification engineers [Text] / E.V. Vinokurov, A.L. Galinovsky, M.V. Zosimov // Industrial infrastructure: economic, technical, technological, organizational, managerial and informational aspects. All-Russian Scientific Conference (Kostroma, 27-28 May 2011), Kostroma: KSU name N. Nekrasova.-2011. - Pp.60-69.

[3] Galinovsky, A.L., Vinokurov E.V., Pudalova E.I. Prospects for the development of quality assessment of training of graduates of technical colleges [Text] / A.L. Galinovsky, E.V. Vinokurov, E.I. Pudalova // IV International Scientific and Practical Conference "Actual problems of modern psychology and pedagogy" 21 August 2010.-Lipetsk. Univ "De-factor". - Pp.102-103.

[4] Galinovsky, A.L., Pudalova E.I. Prospects for creating a system of certification of personnel for the aircraft industry [Text] / A.L. Galinovsky, E.I. Pudalova // Russian education in the 21st Century: Challenges and Prospects: Proceedings of V All-Russian Scientific Conference (18-19 November 2011.), Tomsk: Publishing house. University Press, 2011. - Pp.158-161.

Aleksandr Sergeevich Vasilev

Doctor of Technical Sciences, Professor
"Bauman Moscow State Technical University"

Head of the Chair "Technology of Machine Building"

Tel: (499)263-6508

E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

Andrey Leonidovich Galinovskiy

Doctor of Education, Ph.D. technical,

Professor" Bauman Moscow State

Technical University "

Tel: (499) 263-65-96

E-mail: galcomputer@mail.ru

Evgenia Viacheslavovna Vinokurova

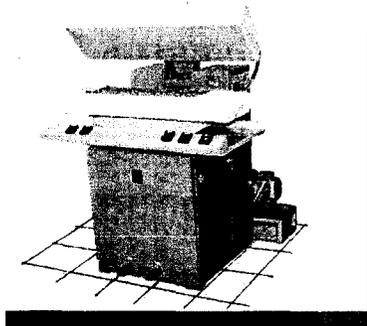
Director of Scientific and Methodological

Center "Engineering Education"

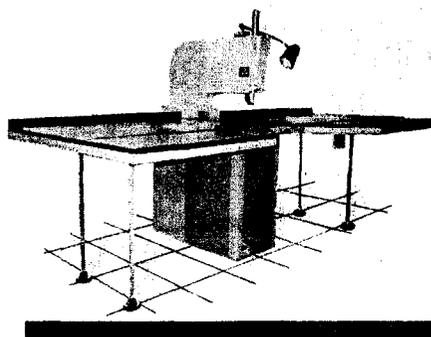
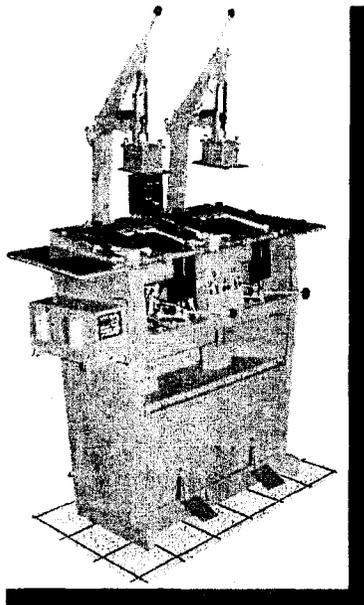
"Bauman Moscow State Technical University"

Tel: (499) 263-65-96

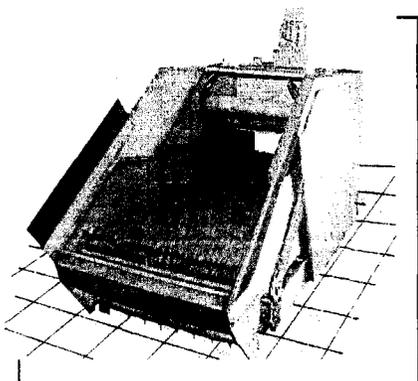
E-mail: mgtu@rambler.ru



**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

Технический редактор
Алисова М.В., Тарасов Д.Е.
Компьютерная верстка
Алисов А.А.

Подписано в печать 27.02.2012 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 7,9.
Тираж 600 экз.
Заказ № 169/12.111

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.