

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Председатель:  
**Голенько В. А.** д.т.н., проф.  
 Зам. председателя:  
**Степанов Ю. С.** д.т.н., проф.  
**Светкин В. В.** к.т.н. доц.  
**Колчунов В. И.** д.т.н., проф.  
**Гордон В. А.** д.т.н., проф.  
**Константинов И. С.** д.т.н., проф.  
**Садков В. Г.** д.э.н., проф.  
**Кулаков А. Ф.** к.т.н., доц.;  
**Фролова Н. А.** к.социол.н., доц.  
**Соков О. А.** к.т.н., доц.  
**Борзенков М. И.** к.т.н., доц.  
**Поландова Л. И.**  
**Одолеева М. В.**

**РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:**

Главный редактор:  
**Степанов Ю. С.** д.т.н., проф.  
 Зам. главного редактора:  
**Киричек А. В.** д.т.н., проф.  
 Зам. главного редактора:  
**Подмистерьев К. В.** д.т.н., проф.  
**Васильев А. С.** д.т.н., проф.  
**Васин С. А.** д.т.н., проф.  
**Дальский А. М.** д.т.н., проф.  
**Зубарев Ю. М.** д.т.н., проф.  
**Суслов А. Г.** д.т.н., проф.  
 Технический редактор:  
**Черепенько А. А.** доц., к.т.н.,  
 Художественный редактор:  
**Барсуков Г. В.** доц., к.т.н.  
 Компьютерная верстка:  
**Подзолков М. Г.** к.т.н., доц.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ СЕРИИ:**

302030 Россия, Орел,  
 ул. Московская, д. 34  
 Кафедра ТМИКТИ  
 Редколлегия журнала Известия  
 ОрелГТУ.  
 Серия: «Машиностроение. При-  
 боростроение»  
 тел: (4862) 55-55-24, 54-15-03  
 факс: (4862) 55-55-24  
 e-mail: ti@ostu.ru, upk@ostu.ru

Формат 69×90/8  
 Печать ризография. Бумага  
 Offsetная. Усл. печ. л – 10.0  
 Тираж 500 экз.

**СОДЕРЖАНИЕ**

• <b>АНАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ:</b>	
И. В. Говоров Формирование комплексов организационно-технологических мероприятий по обеспечению оптимальной долговечности деталей машин .....	4
А.В. Киричек, А.Н. Афонин Состояние производства резбонакатного оборудования и инструмента в РФ .....	10
• <b>ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС:</b>	
М.А. Алтухов; О.В. Полохин, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов Расчет толщин и площадей срезаемых слоев при нарезании зубьев некрутлых колес инструментными червячного типа .....	16
В.Д. Артамонов Сравнительный анализ способов зубонарезания цилиндрических колес .....	20
А.А. Маликов Анализ технологических схем зубообработки цилиндрических колес .....	26
В.И. Сотников, Д.В. Агарков Производительное зубонарезание цилиндрических колес гибяющими дисковыми фрезами .....	31
П.Н. Учаев, С.Г. Емельянов, С.А. Сергеев К проектированию зуборезного инструмента и звездочек цепных муфт .....	36
Н. Д. Феофилов, А. В. Колобаев Сборные червячные фрезы на основе эвольвентного червяка .....	41
• <b>ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ:</b>	
Д.Р. Блурция Соосное внутреннее шлифование .....	48
Ю.С. Степанов, Б.И. Афанасьев, Д.С. Фомин Способ осциллирующего шлифоконингования отверстий .....	51
• <b>ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ:</b>	
О.В.Иванова, Н.Е.Занин, П.В.Аносос Термодинамический стимул к окислению и восстановлению железа в хромистых сталях при цементации и нитроцементации .....	57
В.М.Переверзев, О.В.Иванова Термодинамика, механизм и кинетика образования цементитного покрытия на поверхности марганцовистой стали при цементации в высокоактивном карбюризаторе .....	63
Л. Г. Петрова, Ю.Г. Фомина Планирование экспериментов по исследованию и разработке новых технологических процессов азотирования .....	65
Н.В. Уханов Комбинированная обработка конструкционных сталей шликерным методом с последующим азотированием .....	70
• <b>ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ</b>	
В.С. Ванин, Т.В.Галаган, А.С.Дьяченко Виброакустический метод диагностирования и контроля качества выпускаемой продукции с использованием переходных функций – реакции элементов машины на единичное ступенчатое возмущение .....	75
И. А. Петрусенко Термоэлектрический метод исследования состояния поверхности трущихся элементов в режиме установившегося изнашивания .....	79
Н.В. Чекашова Термошумовой электрический метод контроля температуры в зоне жидкостного трения .....	82
• <b>ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b>	
Н.В.Земляков, В.П.Корячкин Аппарат для осуществления энергосберегающей сушки с одновременным пылесудавливанием полидисперсных пищевых продуктов во взвешенном закрученном слое .....	86
Е. Л. Моськина, Е. В. Проколова Раскрой синтетических орнаментированных тканей с целью получения качественного кроя .....	89
М.В. Родичева, А.В. Абрамов, А.В. Уваров, Е.М. Гнеушева Измерительный комплекс для определения ряда показателей качества спецодежды .....	93
А. А.Тарапанов Управление качеством спортивной женской одежды .....	97
А. А.Черепенько, А. П. Черепенько Окончательная влажно-тепловая обработка швейных изделий .....	100
• <b>ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ</b>	
Е.Н. Бологов, А.В. Киричек, Н.Н. Самойлов Условие выбора размерности решения тепловой задачи при ФРУО .....	109
В.Ю. Блюменштейн Наследственная механика стадии циклической трещиностойкости .....	112
А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.В. Поляков, Голенцова А.В., Гончаров А.В. Волновое импульсное нагружение при деформационном упрочнении .....	117
А.А. Кречетов Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин со сверхтвердыми покрытиями .....	122
Ю.С. Степанов, Н.Н. Самойлов, А.А. Катунин Поверхностная пластическая обработка неполной сферы импульсным ударным деформированием .....	124
• <b>ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ</b>	
Н.В.Земляков Новые технологии стопорения резьбовых соединений (гаек и болтов) .....	129
А.Ю. Илюхин, А.С. Ямников Специфика сборки соединений с избыточными связями .....	132
Меньшенин Г.Г., Санинский В.А. К вопросу определения толщины масляной пленки в коренных подшипниках коленчатого вала дизеля 8ЧВН15/16 .....	137
С. Харьков, А.В. Дроботов, М. Г. Кристаль Модель струйного сортировочного устройства .....	143
• <b>ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ</b>	
Н.В. Земляков Разработка высокоэффективных шнековых насосов для перекачки жидкостей и пластично-вязких масс .....	148
В.А. Манерцев, к.т.н., В.А. Годлевский Расчет формы и размеров пресованных заготовок для спеченных порошковых подшипников скольжения .....	151

# Поздравляем с 70-летием

*Доктора технических наук, профессора*

**Смоленцева**

**Владислава Павловича**

В.П. Смоленцев закончил в 1960 г. Казанский авиационный институт по специальности «Инженер-механик авиационных двигателей». Начало его трудовой деятельности связано с Казанским филиалом НИАТ. Его учителями были профессор КАИ Лысов М.И., академик АН МССР, д.т.н., профессор Лазаренко Б.Р., академик АН МССР, д.т.н., профессор Петров Ю.Н., д.т.н., профессор Миль М.Л., профессор Такава К. (Япония, Канагава) и др.

С 1969 по 1979 г. профессор Смоленцев В.П. работал в Казанском химико-техническом институте им. С.М. Кирова, с 1979 г. Владислав Павлович – заведующий кафедрой «Технология машиностроения», декан и профессор Воронежского государственного технического университета.

Под научным руководством профессора Смоленцева В.П. защитили диссертации 17 докторов и 48 кандидатов наук. Учениками профессора Смоленцева В.П. являются генеральный директор (до 2005 г.) ФГУП ВМЗ д.т.н., профессор, зав. кафедрой, дважды лауреат премии Правительства РФ Часовских А.И., зам. главы администрации Воронежской области Клейменов В.И., генеральный директор (до 2000 г.) ГНПП «ТЭХО», зав. кафедрой КГТУ им. Туполева, Лауреат премии РТ Садыков З.Б., профессор КГТУ им. Туполева Газизуллин К.М. и многие другие.

Профессор Смоленцев В.П. – автор и соавтор 790 публикаций как в России, так и за рубежом, в том числе 21 монографии, двух учебников, 18 учебных пособий и др. Кроме того, он имеет 125 авторских свидетельств и патентов.

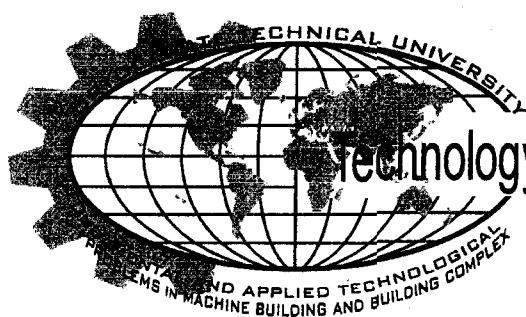
К основным направлениям его научной деятельности относятся создание технологий и оборудования для электроэрозионной и электрохимической обработки деталей, ремонта летательных аппаратов, а также повышение качества изделий в самолетостроении, разработка средств технологического оснащения производства, устройств для медицинской промышленности. Он является создателем нового научного направления по электрохимической обработке деталей нежесткими электродами. Экономический эффект от внедрения его разработок составил десятки миллионов рублей.

Владислав Павлович занимается научно-организационной работой, является членом Президиума Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, Головного Совета по машиностроению РФ, действительным членом российской академии космонавтики и Международной академии информатики, членом-корреспондентом Академии технологических наук РФ, ученым советником Российской инженерной академии, а также соучредителем и членом Международной ассоциации по чистовой обработке, членом комиссии по машиностроению Польской академии наук, действительным членом национальной академии наук США.

Владислав Павлович занимается научно-организационной работой, является членом Президиума Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, Головного Совета по машиностроению РФ, действительным членом российской академии космонавтики и Международной академии информатики, членом-корреспондентом Академии технологических наук РФ, ученым советником Российской инженерной академии, а также соучредителем и членом Международной ассоциации по чистовой обработке, членом комиссии по машиностроению Польской академии наук, действительным членом национальной академии наук США.

В.П. Смоленцев - лауреат премии Правительства РФ, награжден медалями «За доблестный труд», носит почетные звания «Заслуженный работник высшей школы РФ», «Изобретатель СССР», «Заслуженный создатель космической техники РФ» и др.

*Организационный комитет VII Международной научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы в машиностроительном и строительном комплексах» «Технология – 2006», коллеги и ученики поздравляют юбиляра и желают ему доброго здоровья, творческих успехов и новых свершений!*



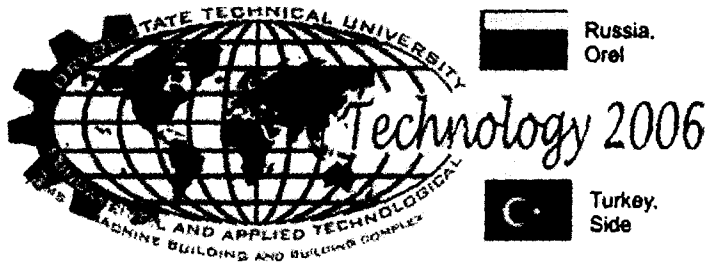
Russia,  
Orel

technology 2006



Turkey,  
Side

# АНАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ



УДК 621.7; 621.9

## ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

И. В. Говоров, к.т.н., доц.

Брянский государственный технический университет  
Брянск, тел.(4832) 549065, факс (4832) 562939, E-mail: nis\_bgtu@mail.ru

## FORMATION OF A COMPLEX OF ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL ACTIONS ON MAINTENANCE OF OPTIMUM DURABILITY OF DETAILS MACHINES

I. V. Govorov, Dr, Assoc. Prof.

Bryansk State Technical University  
Bryansk, tel.(4832) 549065, fax (4832) 562939, E-mail: nis\_bgtu@mail.ru

*Theoretical questions of maintenance of optimum durability of details machines by criterion of the minimal expenses for the period time equal to a target date of operation of the machine as a whole are considered.*

Проблема обеспечения оптимальной долговечности деталей машин, охватывает весь комплекс работ от проведения НИиОКР до сервисного обслуживания машин на предприятиях-потребителях и их утилизации. Решение этой проблемы в конечном итоге предполагает создание качественных изделий с минимальными затратами потребителя. По мнению специалистов оптимальным представляется такой вариант, когда долговечность детали  $T_p$  равна или кратна установленному сроку службы машины в целом  $T_m$  [1]. Однако на практике в большинстве случаев имеют место несколько иные соотношения (рис. 1).

В работе [2] предлагается концепция системы организационно-технологического обеспечения оптимальной долговечности деталей машин, основывающаяся на создании оптимальных условий для перехода изделия (детали) из некоторого  $i$ -го фактического ( $i = 1...4$ , рис. 1) в  $j$ -е возможное

рациональное состояние ( $j = 5, 6, 7$ , рис. 1). При этом рассматривается не абсолютное достижение какого-либо  $j$ -го рационального состояния (что с практической точки зрения маловероятно), а лишь технологически и организационно возможное и экономически целесообразное приближение к нему.

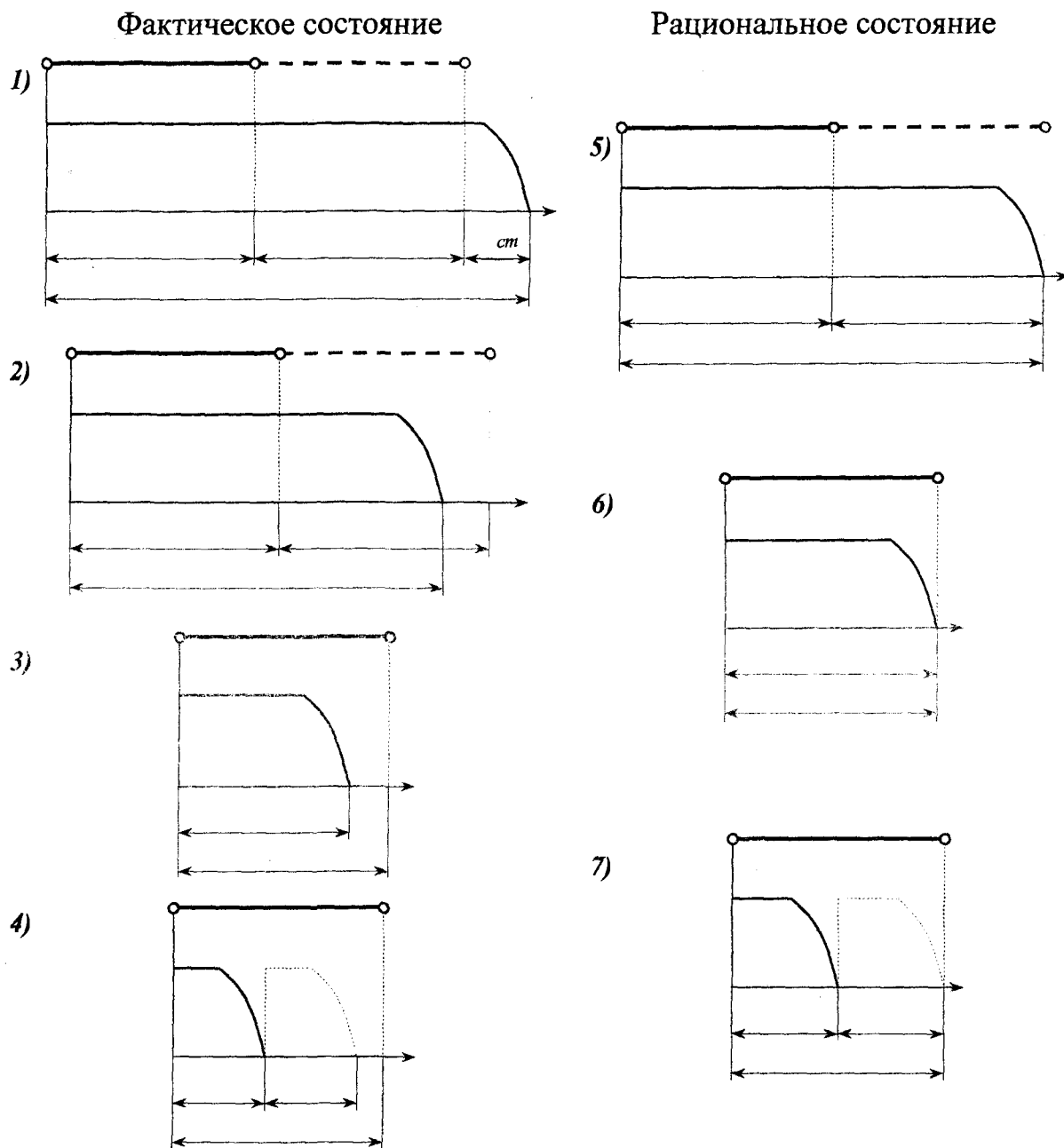


Рис. 1. Схема возможных вариантов соотношений долговечности детали  $T_p$  с установленным сроком службы машины  $T_M$ :

ПС – предельное состояние детали;  $T_M^H$  – срок службы новой (модернизированной) машины;  $T_p^{ост}$  – остаточный ресурс детали;  $T_p^o$  – долговечность новой (восстановленной) детали.

Представим все возможные варианты перехода от одного состояния к другому в виде ориентированного графа (рис. 2), ребра которого характеризуют соответствующие организационно-технологические мероприятия, а

вершины  $A_0, A_1, \dots, A_7$  соответствуют конкретному состоянию детали (индексы в обозначении соответствуют позициям на рис. 1).

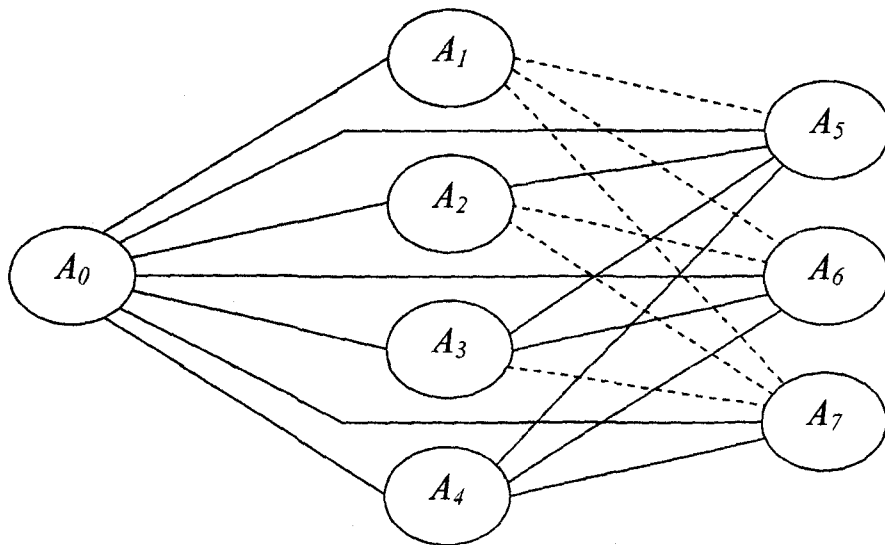


Рис. 2. Граф организационно-технологических мероприятий по обеспечению оптимальной долговечности деталей машин

Реализация любого из возможных комплексов организационно-технологических мероприятий (КОТМ), приводящих от исходного  $A_0$  к рациональному  $A_j$  состоянию, сопровождается соответствующими затратами, которые с точки зрения оптимизации должны быть минимальными для конкретной детали за период времени, равный сроку службы машины  $T_m$  и не превышать уровень затрат на данную деталь  $C_{исх}$  при отсутствии каких-либо мероприятий вообще (функционирование машины по схеме «как было»):

$$C_{0ij} \rightarrow \min \text{ при } C_{0ij} < C_{исх} \quad (1)$$

Рассмотрим отдельные варианты реализации КОТМ при различных исходных сочетаниях  $T_p$  и  $T_m$ .

Первый возможный вариант  $A_0A_1A_j$  характеризуется тем, что сформированная из заготовки ( $A_0$ ) деталь ( $A_1$ ) имеет долговечность, многократно (не менее 2-х раз) превышающую срок службы машины  $T_m$ . При этом во всех случаях у детали остается неиспользованный запас ресурса  $T_p^{ост}$ , поэтому все дальнейшие варианты оптимизации ( $A_1A_j$ ) связаны с рациональным уменьшением  $T_p^{ост}$  за счет снижения требований к эксплуатационным показателям детали с целью минимизации затрат  $C_{0ij}$ . Если же учесть, что любое изменение состояния детали вида  $A_0A_1A_j$  оказывается эквивалентным переходу  $A_0A_j$ ,

и привести все затраты, связанные с данной деталью, к жизненному циклу машины, то получим

$$\begin{cases} C_{015} = [C_{01} - C_{15}^{\exists} + C_{15}^{def} (z_1 - 1)] : z_1 = [C_{05} + C_{15}^{def} (z_1 - 1)] : z_1; \\ C_{016} = C_{01} - C_{16}^{\exists} = C_{06}; \\ C_{017} = [C_{01} - C_{17}^{\exists}] \cdot (z_2 + 1) = C_{07} \cdot (z_2 + 1); \end{cases} \quad (2)$$

где  $C_{ij}^{\exists}$  – сокращение (экономия) затрат при изготовлении детали за счет использования более дешевого материала, снижения требований по точности размеров, взаимному расположению и качеству поверхностей, позволяющее реализовать  $j$ -е рациональное состояние;  $C_{15}^{def}$  – затраты на дефектацию детали в процессе определения возможностей ее повторного использования;  $z_1$  – число раз возможного использования детали в конструкции машины (кратность долговечности детали установленному сроку службы машины);  $z_2$  – число предполагаемых замен детали в процессе эксплуатации машины.

Для КОТМ  $A_0A_2A_j$  одним из направлений ( $A_0A_2A_5$ ) может рассматриваться повышение ресурса до окончания очередного срока службы машины (новой или модернизированной). Соответствующий результат в этом случае может быть обеспечен за счет внесения конструкторских изменений и упрочнения детали на этапе ее изготовления, а так же за счет применения комбинированных технологических методов (предусматривающих упрочнение) в процессе восстановления изношенной детали. Другие варианты мероприятий ( $A_0A_2A_6$  и  $A_0A_2A_7$ ) связаны с уменьшением долговечности детали и аналогичны ранее рассмотренным видам  $A_1A_j$ . Затраты для реализации комплекса мероприятий  $A_0A_2A_j$  для конкретной детали за жизненный цикл машины определяются по зависимостям

$$\begin{cases} C_{025} = [C_{02} + C_{25}^{Y(B)} + C_{25}^{def} (z_1 - 1)] : z_1; \\ C_{026} = C_{02} - C_{26}^{\exists} = C_{06}; \\ C_{027} = [C_{02} - C_{27}^{\exists}] \cdot (z_2 + 1) = C_{07} \cdot (z_2 + 1); \end{cases} \quad (3)$$

где  $C_{25}^{Y(B)}$  – затраты на реализацию технологий упрочнения (в том числе в процессе восстановления) детали;  $C_{25}^{def}$  – затраты на дефектацию детали в процессе определения возможностей ее повторного использования;  $C_{2j}^{\exists}$  – сокращение затрат при изготовлении детали, позволяющее реализовать  $j$ -е рациональное состояние.

Для комплекса мероприятий  $A_0A_3A_j$  возможные варианты связаны как с реализацией упрочняющих технологий ( $A_0A_3A_5$  и  $A_0A_3A_6$ ), так и со снижением неиспользуемых эксплуатационных возможностей ( $A_0A_3A_7$ ), поэтому затраты на осуществление оптимизационных мероприятий могут быть определены по зависимостям

$$\begin{cases} C_{035} = [C_{03} + C_{35}^{Y(B)} + C_{35}^{def} (z_1 - 1)] : z_1; \\ C_{036} = C_{03} + C_{36}^{Y(B)}; \\ C_{037} = [C_{03} - C_{37}^{\exists}] \cdot (z_2 + 1) = C_{07} \cdot (z_2 + 1); \end{cases} \quad (4)$$

где  $C_{3j}^{Y(B)}$  – затраты на реализацию технологий упрочнения (в том числе в процессе восстановления) детали, позволяющие реализовать  $j$ -е рациональное состояние;  $C_{35}^{def}$  – затраты на дефектацию детали в процессе определения возможностей ее повторного использования;  $C_{37}^{\exists}$  – возможное сокращение затрат при изготовлении детали.

Для последнего предусмотренного системой комплекса  $A_0A_4A_j$  возможные оптимизационные мероприятия связаны исключительно с конструкторскими улучшениями и применением упрочняющих технологий с различным конечным эффектом. Соответствующие затраты могут быть определены по зависимостям

$$\begin{cases} C_{045} = [C_{04} + C_{45}^{Y(B)} + C_{45}^{def} (z_1 - 1)] : z_1; \\ C_{046} = C_{04} + C_{46}^{Y(B)}; \\ C_{047} = [C_{04} + C_{47}^{Y(B)}] \cdot (z_2 + 1); \end{cases} \quad (5)$$

где  $C_{4j}^{Y(B)}$  – затраты на реализацию технологий упрочнения (в том числе в процессе восстановления) детали, позволяющие реализовать  $j$ -е рациональное состояние;  $C_{45}^{def}$  – затраты на дефектацию детали в процессе определения возможностей ее повторного использования.

Исходные затраты  $C_{исх}$ , соответствующие возможным вариантам КОТМ (1), приведены в таблице.

Следует заметить, что полученные зависимости (2 – 5) носят универсальный характер и могут использоваться для случаев  $T_m = var, (T_m^n \neq T_m)$  и  $T_p = var (T_p^g \neq T_p)$ , которые в реальных условиях встречаются достаточно часто.

Таблица  
Исходные затраты, определяющие эффективность применения КОТМ

КОТМ, $A_{0ij}$	Исходные затраты, $C_{исх}$	КОТМ, $A_{0ij}$	Исходные затраты, $C_{исх}$
$A_0A_1A_5$	$[C_{01} + C^{def} (z_1 - 1)] : z_1$	$A_0A_3A_5$	$2C_{03}$
$A_0A_1A_6$	$[C_{01} + C^{def} (z_1 - 1)] : z_1$	$A_0A_3A_6$	$2C_{03}$
$A_0A_1A_7$	$[C_{01} + C^{def} (z_1 - 1)] : z_1$	$A_0A_3A_7$	$2C_{03}$
$A_0A_2A_5$	$C_{02}$	$A_0A_4A_5$	$(z_2^{исх} + 1) \cdot C_{04}^*$
$A_0A_2A_6$	$C_{02}$	$A_0A_4A_6$	$(z_2^{исх} + 1) \cdot C_{04}$
$A_0A_2A_7$	$C_{02}$	$A_0A_4A_7$	$(z_2^{исх} + 1) \cdot C_{04}$

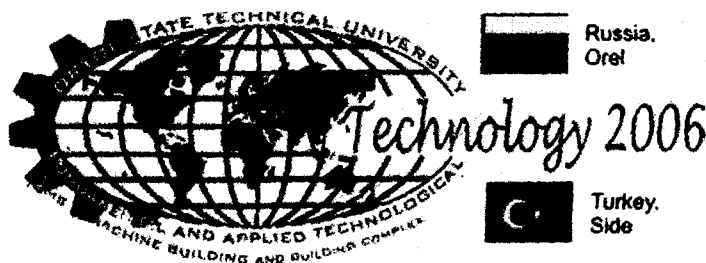
Примечание: \*  $z_2^{исх}$  – число предполагаемых замен детали в процессе эксплуатации машины в исходном варианте.



Рассмотренная система позволяет экономически обосновать совокупность организационно-технологических методов, применяемых к деталям машин на стадиях их проектирования, изготовления, ремонта (восстановления) и утилизации. Реализация такого подхода для машин, составляющих основную номенклатуру производства предприятия, позволит выпускать высококачественную, надежную и конкурентоспособную продукцию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елизаветин, М.А. Технологические способы повышения долговечности машин / М.А. Елизаветин, Э.А. Сатель. М.: Машиностроение, 1969. 400 с.
2. Суслов, А.Г. Экономичная система технологического обеспечения долговечности поверхностей трения изделия / А.Г. Суслов, И.В. Говоров, А.Н. Щербаков. Тяжелое машиностроение. 2004. № 5. С. 16-18.



УДК 621.99

## СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗЬБОНАКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. Киричек, д.т.н., проф.; А.Н. Афонин, к.т.н., доц.  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862)555524, fax (4862) 416684, E-mail: ti@ostu.ru

## CONDITION OF MANUFACTURE THREAD ROLLING MASHINES AND TOOLS IN THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Kirichek, Prof., Dr; A.N. Afonin  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel. +7(4862) 555524, 419845, fax +7(4862) 416684, E-mail: ti@ostu.ru

*The analysis of a modern condition of manufacture nthread rolling the equipment and the tools in the Russian Federation is made. It is drawn a conclusion on necessity of modernization manufacture for increase of its competitiveness.*

Резьбы являются одним из наиболее распространенных элементов деталей машин. При этом, трудоемкость изготовления ответственных резьб составляет до 50% и более от общей трудоемкости изготовления детали. Таким образом, от эффективности применяемой технологии резьбоформообразования в значительной степени будет зависеть качество и себестоимость изготавливаемых деталей и конкурентоспособность предприятия в целом.

Одной из основных тенденций современного машиностроения в мире является сокращение области применения обработки резанием и частичная замена ее высокоэффективными процессами физико-технической обработки, в том числе ротационными методами обработки давлением. Применительно к обработке резьб таким методом является резьбонакатывание, позволяющее обеспечить высокое качество получаемых резьб при высокой производительности. Резьбонакатывание находит все более широкое применение в промышленно развитых странах [5]. Мировыми лидерами в производстве резьбонакатного оборудования и инструмента являются США, ФРГ, Япония и

Италия. Активно осваивают рынок резьбонакатного оборудования и инструмента быстроразвивающиеся компании КНР, Тайваня, Индии и Южной Кореи.

К сожалению, российские предприятия в значительной мере утратили позиции, занимавшиеся ими до начала 90-х годов XX века в области производства резьбонакатного оборудования и инструмента.

Ситуация с производством резьбонакатных станков мало чем отличается от ситуации с выпуском других видов металлообрабатывающего оборудования. Старейшим производителем резьбонакатного оборудования в странах СНГ является ОАО «Азовский завод кузнечно-прессовых автоматов» (г. Азов). Станки производства Азовского завода составляют большую часть парка резьбонакатного оборудования в РФ. Данное предприятие и на сегодняшний день производит широкую гамму автоматов для накатывания резьбы плоскими плашками и роликами-сегментами, профиленкатных полуавтоматов с двумя роликами. Автоматы и полуавтоматы Азовского завода имеют относительно низкую стоимость (от 600 тыс. руб. и выше), однако их конструкция, восходящая к 70-м годам XX века [3], в значительной степени устарела. В связи со сложным экономическим положением предприятие не может осуществить коренную модернизацию выпускаемого резьбонакатного оборудования.

В качестве положительного момента следует отметить освоение в конце 90-х годов XX века – начале XXI века производства современных профиленкатных полуавтоматов конструкции итальянской компании ORT (к сожалению, по утверждению представителей компании ORT в РФ, без приобретения лицензии) ОАО «Рязанский станкостроительный завод» и СКБ-ЗТС (г. Колосна). Данные станки имеют самокомпенсирующие шпиндели для постоянного совмещения роликов по шагу в процессе работы. Быстрая врезная подача и ускоренный возврат с регулировкой давления и подачи обеспечивают повышенную производительность обработки. В двухроликовых станках для быстрого совмещения по шагу винтового профиля роликов предусмотрена электрогидравлическая зубчатая муфта, в трехроликовых – механическая фрикционная муфта. Ввиду высокой стоимости (более миллиона рублей) станки типа ORT производства Рязанского станкостроительного завода и СКБ-ЗТС продаются в РФ в весьма ограниченном количестве (несколько штук в год). В несколько больших объемах Рязанский станкостроительный завод поставляет их на экспорт.

Автоматы резьбонакатные с плоскими плашками для накатывания крупных резьб диаметром 12...24 мм моделей AA255 и A2424C производятся ОАО «Тяжпрессмаш» (г. Рязань). Для накатывания мелких резьб диаметром 1,5...3 мм ОАО «Савеловский машиностроительный завод» (г. Кимры) выпускает автомат с роликом и сегментом МНК-02М. Данные автоматы имеют сравнительно устаревшую конструкцию.

В целом, ситуацию с производством резьбонакатного оборудования в РФ нельзя считать удовлетворительной. Особенно тревожным является то, что большая часть выпускаемого оборудования является морально устарев-

шим. Производство наиболее современных резьбонакатных станков с ЧПУ отсутствует полностью.

Еще более тяжелая ситуация на сегодняшний день сложилась в РФ производством резьбонакатных головок. Основной производитель аксиальных головок типа НП, НПТ, ВНГН, ВНГТ, РГТВ и тангенциальных головок ТНГН и ТНГС [1, 4] в СССР - инструментальный завод «Фрезер» (г. Москва) прекратил свое существование в 90-х годах XX века. Наследником этого предприятия, производящим аксиальные резьбонакатные головки и ролики к ним, является ОАО «Аркона» (г. Москва). Однако это предприятие на сегодняшний день испытывает весьма серьезные экономические трудности, в связи с чем существует реальная угроза полного прекращения производства данных резьбонакатных головок в РФ и СНГ.

Выпускаемые ОАО «Московский инструментальный завод» резьбонакатные головки STD морально устарели и имеют ограниченную область применения – накатывание резьб на водопроводных трубах на автоматах STD-129. Для освоения новых типов резьбонакатных головок предприятие не имеет производственных возможностей.

Попытки освоения производства современных резьбонакатных головок оригинальной конструкции (например, РНГ на ОАО "Пензенское конструкторско-технологическое бюро арматуростроения") или лицензионных (например, Fette на АО «АвтоВАЗ») пока следует признать неудачными.

Лишь производство простейших по конструкции резьбонакатных головок, в частности нераскрывающихся аксиальных головок (плашек) типа НП, освоено некоторыми предприятиями оборонного комплекса (например, ДАО «Ижевский инструментальный завод»).

Утеря отечественными предприятиями высокотехнологичного производства современных резьбонакатных головок является серьезной проблемой. Данная оснастка является наиболее перспективной для получения резьб на универсальном оборудовании токарной и сверлильной группы и обрабатываемых центрах в условиях гибкого интеллектуального производства [6], особенно на малых и средних предприятиях, в ремонтном и инструментальном производстве. Практически полное отсутствие современных отечественных резьбонакатных головок и высокая стоимость импортных аналогов (более 1000\$ за головки Fette, Landis и т.п.) отрицательно сказывается на технической оснащенности и конкурентоспособности отечественного малого и среднего бизнеса.

Достаточно сложной является ситуация с производством в РФ резьбонакатного инструмента. Данный вид металлообрабатывающего инструмента по сложности изготовления уступает только зубообрабатывающему. Высокие требования, предъявляемые к механическим свойствам материала резьбонакатного инструмента, вызывают повышенные требования к технологии егоковки и термической обработки. Повышенные требования к точности резьб в современном машиностроении вызывают потребность обязательного включения в технологический процесс изготовления резьбонакатного инструмента резьбошлифовальных операций. Реализация вышеперечисленных требова-

ний невозможна без применения современного дорогостоящего оборудования, обслуживаемого высококвалифицированным персоналом. В связи с этим общее падение культуры производства в Российском машиностроении приводит к постепенному сокращению предприятий, обладающих возможностью самостоятельного изготовления резбонакатного инструмента, что ведет к росту спроса на него при одновременном сокращении предложения.

Основными поставщиками роликов к резбонакатным полуавтоматам на Российском рынке на сегодняшний день являются Московский и Томский инструментальные заводы. В связи с сокращением количества предприятий, имеющих возможность самостоятельного производства резбонакатного инструмента, и наметившимся в последние годы некоторым оживлением в Российском машиностроении эти предприятия перегружены заказами на изготовление роликов. По мнению потребителей их продукции, качество выпускаемых на этих предприятиях резбонакатных инструментов неуклонно снижается при одновременном увеличении сроков выполнения заказов. Причиной этого является снижение качества отечественных инструментальных материалов, старение оборудования и отток высококвалифицированного персонала в другие секторы экономики. Другие предприятия, выпускающие резбонакатные ролики, например Ижевский инструментальный завод, ОАО «КАМАЗспецинструментмаши» (г. Набережные Челны), ООО «Краснодарский ЗИП», АО «Самарский инструментальный завод» и т.п., занимают незначительные сегменты рынка, обеспечивая, как правило, потребителей только в пределах своих регионов.

Основным производителем инструментов ролик-сегмент (в особенности крупных размеров) в РФ является Московский инструментальный завод. В связи с большей сложностью изготовления внутренней резьбы ситуация с их выпуском является еще более тревожной, чем с производством резбонакатных роликов.

Плоские резбонакатные плашки выпускаются Ижевским инструментальным заводом, ООО «Аркона» и некоторыми другими предприятиями. Большинство производимых отечественными предприятиями плоских плашек имеют нарезанный профиль резьбы и не позволяют накатывать точные резьбы.

Бесстружечные метчики выпускаются Самарским и Ижевским инструментальными заводами, НПФ «Робоштамп» (г. Москва) и некоторыми другими предприятиями. Проблемы с их производством в целом аналогичны проблемам, возникающим при производстве резбонакатных роликов.

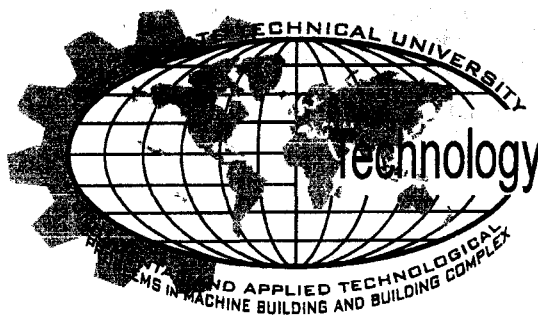
Современное инструментальное производство, позволяющее изготавливать практически любые резбонакатные инструменты с достаточно высоким качеством, на сегодняшний день сохранилось в РФ лишь на некоторых метизных предприятиях, связанных в первую очередь с автомобильной промышленностью. К ним можно отнести ОАО «Автономаль» (г. Белебей), ОАО «Рославльский автоагрегатный завод» (г. Рославль) и некоторые другие. Однако, в силу ограниченных мощностей инструментального производ-

ства, данные предприятия изготавливают резьбонакатной инструмент только для собственных потребностей, практически не поставляя его на рынок.

Анализ современного состояния производства резьбонакатного оборудования и инструмента в РФ показывает, что ситуация является достаточно тревожной. Выпускаемое отечественными предприятиями резьбонакатное оборудование часто является неконкурентоспособным из-за устаревшей конструкции, низкого качества или высокой цены. В связи с этим, уровень выпуска резьбонакатных станков остается низким, вызывая дальнейшую стагнацию станкостроительных заводов, еще более ухудшающую ситуацию. Производство современных резьбонакатных головок в РФ практически утрачено. Предприятия, выпускающие резьбонакатной инструмент, не в состоянии удовлетворить растущий спрос на него в силу отсутствия возможностей или желания модернизировать производство. Поскольку резьбонакатывание является наиболее современным и перспективным способом резьбоформообразования [2], подобное положение сдерживает дальнейшее развитие всего отечественного машиностроения. Для выхода из сложившейся ситуации необходимы значительные инвестиции в модернизацию производства резьбонакатного оборудования и инструмента. Поскольку сохранение современных технологий чрезвычайно важно прежде всего для военно-промышленного комплекса и обороноспособности страны, представляется необходимым инвестировать в производство резьбонакатного оборудования и инструмента средства государственного бюджета. Перспективным является так же создание в РФ филиалов мировых лидеров в производстве резьбонакатного оборудования и инструмента, например компаний PEE-WEE и LMT-Fette (ФРГ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудов А.А., Комаров П.Н. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент. Обзор. М.: НИИмаш, 1980. 64 с.
2. Киричек А.В., Афонин А.Н. Перспективы развития резьбонакатывания. // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение, 2003, №4. С. 32-34.
3. Миропольский Ю.А., Луговой Э.П. Накатывание резьб и профилей. - М.: Машиностроение, 1976. 175 с.
4. Султанов Т. А. Резьбонакатные головки. М.: Машиностроение, 1966. 136 с.
5. Greis H.A. Roll It. // Cutting Tool Engineering, 2004. №12. P. 50-54.
6. McBride A. Thread Rolling on CNC. // Cutting Tool Engineering, 1995, №5. P. 45-51.

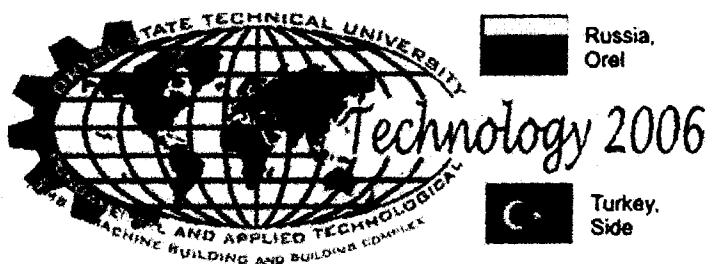


Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС



УДК 621.914.15

## РАСЧЕТ ТОЛЩИН И ПЛОЩАДЕЙ СРЕЗАЕМЫХ СЛОЕВ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЗУБЬЕВ НЕКРУГЛЫХ КОЛЕС ИНСТРУМЕНТАМИ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА

М.А. Алтухов; О.В. Полохин, к.т.н.; А.С. Тарапанов, д.т.н., профессор;  
Г.А. Харламов, д.т.н., профессор  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862) 416733

## THE ACCOUNT OF THICKNESS AND AREAS OF THE CUT LAYERS OF NON-ROUND GEAR WHEELS BY WORM MILLING

M.A. Altuhov, O.V. Polokhin, Doctor of Philosophy, A.S. Tarapanov,  
Doctor of Philosophy; G.A. Kharlamov, Doctor of Philosophy  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862) 416733

*In the issue the mathematical representation of the cutting scheme of non-round gear wheels by worm milling is submitted. The analysis of the kinematic features of process is made and the results of account of thickness and area of the cutting layer are given*

Зубчатые колеса – массовые детали машиностроения, поэтому вопросы технологии их изготовления приобретает особенно важное значение.

Одним из основных подходов, определяющих возможность дальнейшего повышения производительности и качества поверхности при обработке зубчатых колес инструментами червячного типа, является оптимизация схемы резания.

Осуществление оптимальных схем резания особенно для сложных процессов формообразования представляет собой трудную задачу. Успешное решение этой задачи зависит от правильности представления о закономерностях процесса зубообработки.



В связи с этим возникает необходимость разработки методики теоретического анализа процесса нарезания зубьев для прогнозирования и оптимизации параметров обработки с различным сочетанием кинематики и конструктивного исполнения инструмента, для зубчатых колес, как с круглой, так и некруглой центроидой.

С этой целью было разработано математическое отображение схемы резания [1], позволяющее воспроизвести профилирование впадины зуба цилиндрического колеса инструментами червячного типа. Параметрами варьирования в нем являются параметры скорости обрабатываемого колеса ( $\sigma$ ), скорости инструмента ( $\varphi$ ) и режущей кромки ( $\Delta h$ ) (рис.1). Изменение параметра режущей кромки дает возможность воспроизвести контур зуба инструмента, изменение параметров скорости инструмента и обрабатываемого колеса – перемещение этого контура в соответствии с особенностями кинематики нарезания зубьев инструментами червячного типа.

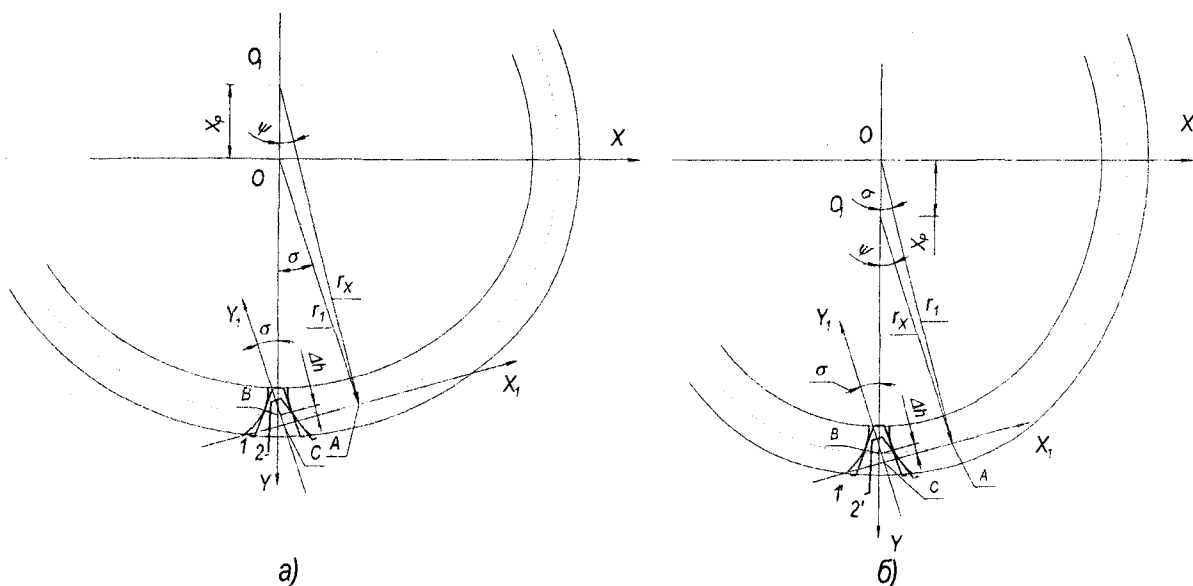


Рис. 1. Схема расчета математического отображения процесса резания инструментами червячного типа

Математическое отображение схемы резания при обработке инструментами червячного типа для большего и малого радиуса кривизны имеет вид:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{(r_1 \pm \Delta h) \sin(\sigma) \left( r_1 \sigma \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \right) \cos(\sigma)}{\cos(\sigma)}; \\
 y &= \frac{(r_1 \pm \Delta h) \cos(\sigma) + \left( r_1 \sigma \mp \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \right) \sin(\sigma)}{\cos(\sigma)}; \\
 z &= ((a_w - r_1) \pm \Delta h) \sin(\varphi) + S_0 .
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Радиус делительной окружности зубчатого колеса при повороте на угол  $\psi$  определяется по формуле (рис.1, а):

$$r_l = \frac{r_x \cos \psi - x_p}{\cos \sigma}, \quad \sigma = \arctg \left( \frac{r_x \sin \psi}{r_x \cos \psi - x_p} \right)$$

Для малого радиуса кривизны параметр  $\sigma$  и радиус делительной окружности пересчитывается следующим образом (рис.1, б):

$$r_l = \frac{r_x \cos \psi + x_p}{\cos \sigma}, \quad \sigma = \arctg \left( \frac{r_x \sin \psi}{r_x \cos \psi + x_p} \right)$$

Приведенное выше математическое отображение (1) позволяет произвести расчеты параметров процесса резания на основе использования элементов векторного анализа с привлечением численных методов с учетом рассчитанных параметров режущей части инструмента (производящей поверхности, режущих кромок).

На рис.2. приведены графики изменения заднего угла по всей режущей кромке при  $m=3$ ,  $Z_l=30$ ,  $\varphi=0^\circ$ ,  $\psi=0^\circ$ ,  $\sigma=0^\circ$ .

Используя методику определения кинематических параметров [1] можно рассчитать изменение заднего угла в любой точке профиля в любой момент времени.

На рис. 3. приведены изменения заднего угла для большого и малого радиусов кривизны входной и выходной кромки в фиксированной точке диаметра центриды ( $\Delta h=0$ ), на интервале  $\psi$  от  $-10^\circ$  до  $10^\circ$ ,  $\sigma$  от  $-11^\circ 58' 58''$  до  $11^\circ 58' 58''$ .

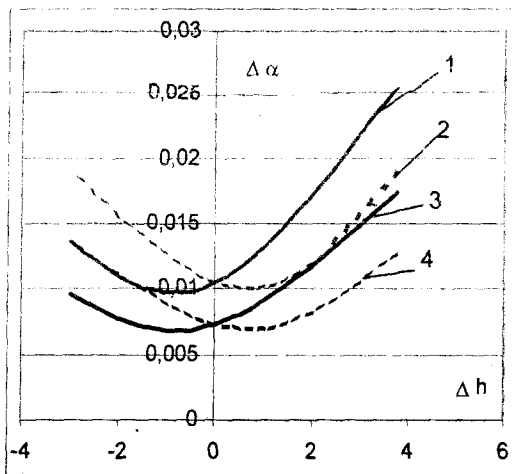


Рис. 2. Изменения заднего угла вдоль режущей кромки положение 1,2 для входной и выходной кромок малого радиуса кривизны положение 3,4 для выходной и входной кромок большого радиуса кривизны

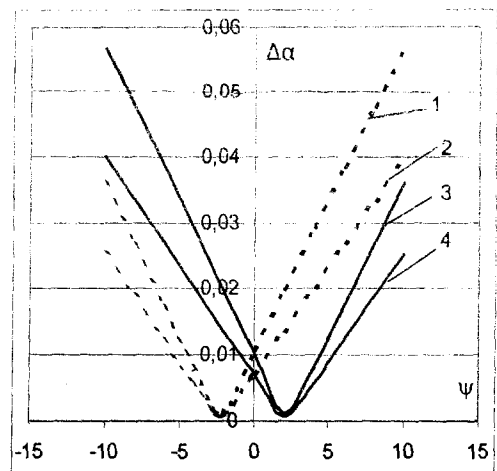


Рис. 3. Изменения заднего угла по делительному диаметру положение 1,3 для выходной и входной кромок малого радиуса кривизны положение 2,4 для выходной и входной кромок большого радиуса кривизны

На рис. 4. показано изменение суммарной толщины срезаемого слоя для малого и большого радиусов кривизны при угле поворота червячной фрезы  $\varphi$  от  $-5^\circ 47' 49''$  до  $5^\circ 47' 49''$  для 1 рейки.

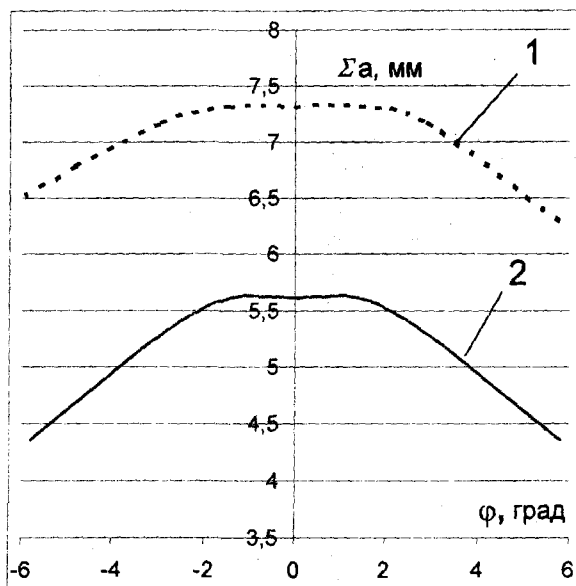


Рис. 4. Изменение суммарной толщины срезаемой боковыми кромками одной рейки инструмента червячного типа  
 Положение 1 – для большого радиуса кривизны  
 Положение 2 – для малого радиуса кривизны

Выводы:

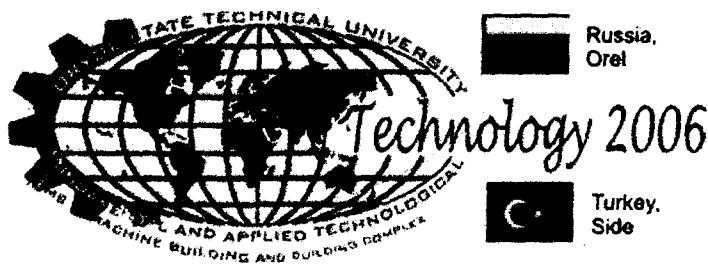
1. Разработанная математическое отображение схемы резания венцов зубчатых колес инструментами червячного типа является универсальным, пространственным и трансформируемым для исследования процесса зубонарезания различных типов колес (овальных, круглых и т.п.), различных схем резания, конструкций инструмента, режимов резания.

2. Применение векторного анализа к данному математическому отображению схемы резания позволяет определить векторы скорости, подачи и рассчитать кинематические изменения углов инструмента червячного типа, толщины срезаемых слоев любой точкой режущей кромки инструмента в любой момент времени.

3. Проанализировав данные по толщинам срезаемых слоев нарезаемого колеса установлено, что толщины срезаемые на большом радиусе кривизны значительно отличаются по величине от толщин срезаемых на малом (для рассмотренных параметров нарезания зубьев толщины отличаются в 2,5 раза), это позволяет предполагать существенную разницу и в силах резания на большом и малом радиусах кривизны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полохин О. В., Тарапанов А. С., Харламов Г.А. Исследование и проектирование процессов зубонарезания инструментами червячного типа. М.: Машиностроение-1, 2006. 148с.:ил.



УДК 621.833.002

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

В.Д. Артамонов, к.т.н., доцент  
Тульский государственный университет  
Тула, тел. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF GEARCUTTING SPUR GEARS

V.D. Artamonov, Dr., Docent  
Tula State University  
Tula, tel. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

*Scientific based methodic was suggested in the paper. It deals with a comparison of the main physical parameters of the gearcutting processes and allows to appreciate objectively potential capabilities and productivity of different methods of gearcutting spur gears.*

В большинстве современных машин, механизмов и приборов нашли широкое применение различные виды зубчатых передач. Наибольшее распространение получили цилиндрические зубчатые передачи, составленные из прямозубых колес внешнего зацепления средних модулей ( $m = 1 \dots 10$  мм).

Для зубонарезания таких колес в настоящее время используют различные способы, среди которых в первую очередь следует выделить такие традиционные процессы зубонарезания по методу обката как зубодолбление дисковыми долбяками и зубофрезерование червячными фрезами. Наряду с ними разработано большое количество новых схем формообразования зубчатых поверхностей цилиндрических колес, в основном для условий крупносерийного и массового производства мото- и автомобилестроения. Зубчатые колеса данного производства характеризуются относительно небольшими размерами: ограниченным диапазоном модулей (2 ... 5 мм) и шириной зубчатого венца до 20 мм.

Целесообразность использования определенных процессов зубонарезания может быть установлена на основании сравнительного анализа по таким параметрам, как производительность и себестоимость. Производительность является более объективным критерием эффективности, поскольку себестоимость в значительной степени зависит от конкретного предприятия.

В настоящее время в технической литературе отсутствуют чёткие рекомендации по выбору рационального способа зубообработки цилиндрических прямозубых колёс с небольшой шириной зубчатого венца. Описание преимуществ рекомендуемых авторами процессов зубонарезания часто носит субъективный и не достоверный характер. Не всегда уточняются конкретные условия, для которых эти преимущества справедливы. Сравнение обычно производится для частных случаев, при этом иногда умышленно занижаются возможности некоторых сравниваемых процессов, в результате чего рекомендации порой оказываются противоречивыми.

Это обуславливает необходимость разработки методики объективного сравнения процессов зубообработки, в основе которой лежит обобщенный анализ кинематики рассматриваемых методов, как разновидностей процесса формообразования, и сопоставление физических параметров, присущих реальным условиям обработки (величин, определяющих кинематику процессов, силовые характеристики, параметры срезаемых слоев и т.п.).

Такой сравнительный анализ позволит решать частные задачи по выбору наиболее эффективных методов обработки для отдельных конкретных случаев и в целом определить рациональную область применения этих методов, т. е. характерные параметры обрабатываемых деталей и условия, для которых анализируемый метод будет эффективнее других. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет научно обоснованная методика сравнительного анализа различных схем обработки, изложенная в работе [1].

Сущность методики основывается на предположении, что наиболее полным показателем эффективности любого процесса являются производительность и стоимость обработки деталей требуемого качества. Следовательно, отношение основных и штучных времён и стоимости осуществления одного и того же технологического перехода различными способами и является критерием при сравнительном анализе методов механической обработки.

Причём, за основные сопоставляемые физические параметры при сравнении процессов черновой обработки принимаются скорость резания  $V$  и средняя толщина среза  $a_{cp}$ , характеризующая нагрузку на единицу длины режущей кромки, а для чистовых процессов – точность обработки и параметры, характеризующие качество получаемых изделий.

Основное технологическое (машинное) время обработки резанием любой детали можно представить зависимостью:

$$t_0 = \frac{L}{a_{cp} \times V} \times f(A),$$

где  $f(A)$  - функция параметров детали и инструмента.

Произведение  $a_{cp} \times V$  определяет режущую способность единицы длины режущей кромки для анализируемого процесса. Отношение основных времён осуществления одного технологического перехода различными способами выражается в виде непрерывной функции параметров обрабатываемой детали (размеров, чисел зубьев и т. п.):

$$\frac{t_{o1}}{t_{o2}} = \frac{a_{cp2} \times V_2}{a_{cp1} \times V_1} \times f\left(\frac{L}{B}; \frac{t}{D}; \frac{d}{D}; z \dots\right).$$

Анализ условий работы инструмента, заводского опыта и нормативных данных по резанию позволяет для различных методов обработки, с использованием разных режущих материалов, например, твёрдых сплавов и быстрорежущих сталей, установить возможные соотношения:

$$\frac{a_{cp2} \times V_2}{a_{cp1} \times V_1}.$$

Однако для целого ряда процессов зубообработки специфической особенностью является непостоянство толщин срезов при формообразовании зубчатых поверхностей, поэтому более целесообразным представляется выбор в качестве основного параметра величины максимального среза  $a_{max}$ , так как технологическая подача назначается, как правило, исходя из величины наибольшего усилия резания, соответствующего максимальной толщине среза. Назначение в этих случаях подачи по среднему значению толщины среза может привести к перегрузке режущих кромок в определенный момент формообразования и поломке инструмента. Особенно это недопустимо при зубонарезании по методу обката, когда, вследствие специфики процесса формообразования, имеется резкое изменение толщины среза от максимума в начале вырезания впадины до значения близкого к нулю – в конце.

Сравнительный анализ эффективности процессов зубонарезания цилиндрических колес представляет собой достаточно сложную и трудоемкую многоэтапную задачу, требующую большого объема вычислений. Успешное решение этой задачи невозможно без применения современной вычислительной техники, поэтому была разработана программа в среде "Delphi", работающая в диалоговом режиме, позволяющая объективно быстро и наглядно осуществлять сравнительный анализ процессов зубонарезания цилиндрических колес.

Укрупненный алгоритм решения задачи сравнения процессов зубонарезания цилиндрических колес представлен на рис. 1.

Работа программы начинается с выбора типа задачи. Предусмотрена возможность решения задач двух типов:

- 1) сравнение производительности любых двух определенных процессов для зубонарезания конкретных цилиндрических колес;
- 2) сравнительный анализ эффективности применения различных процессов зубонарезания цилиндрических колес в определенном, достаточно широком диапазоне изменения их параметров.

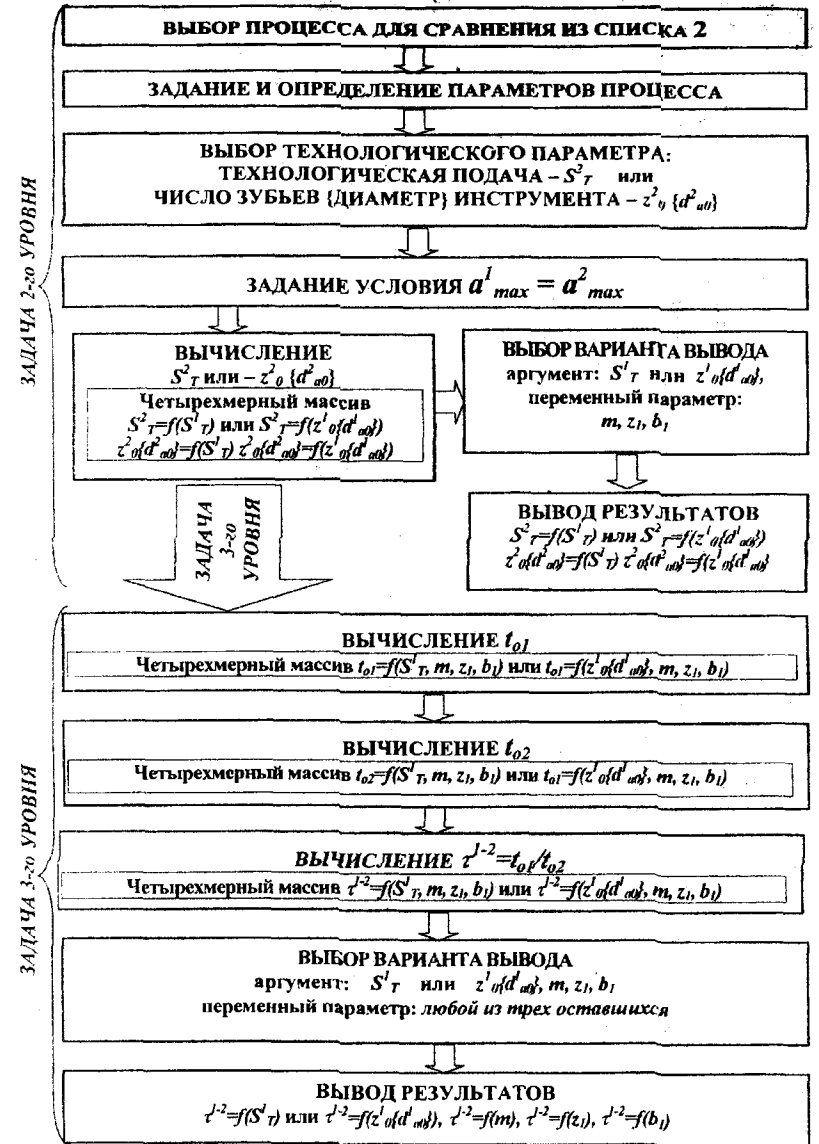
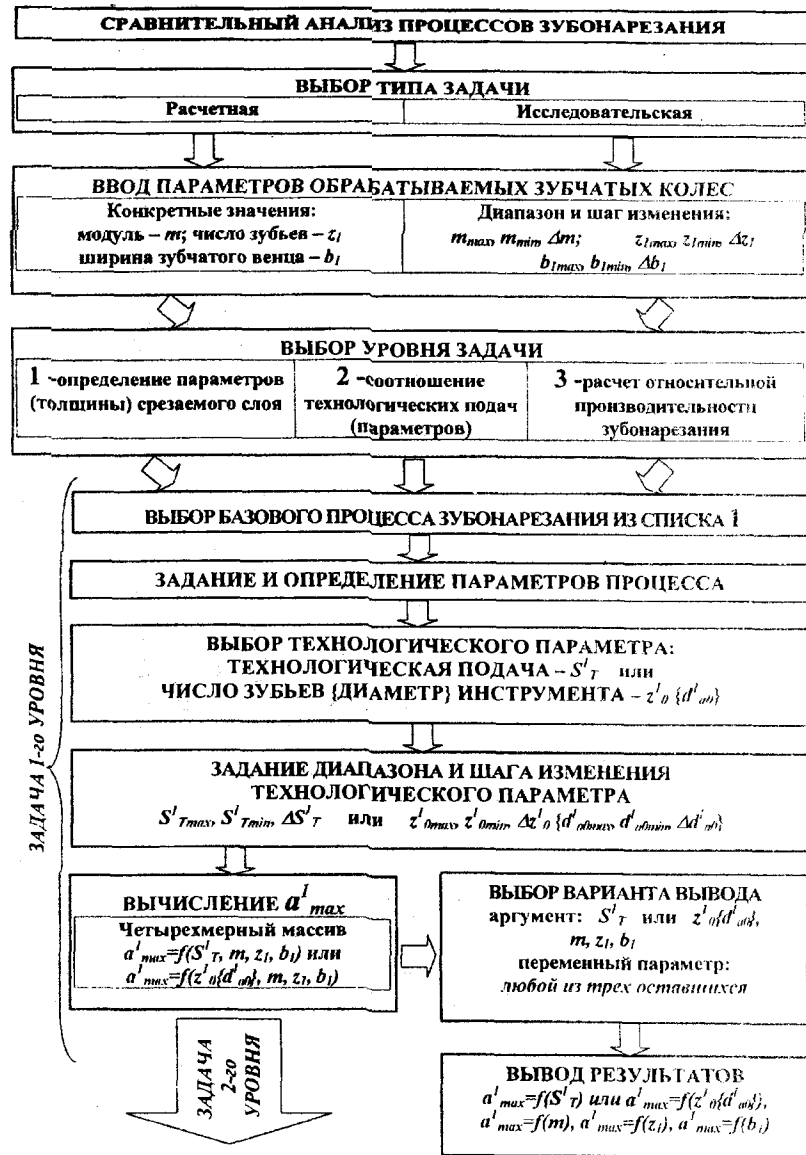


Рис. 1. Алгоритм сравнительного анализа процессов зубонарезания

В соответствии с выбранным типом задачи осуществляется ввод параметров обрабатываемых зубчатых колес. В первом случае задаются конкретные значения модуля, числа зубьев колеса и ширины зубчатого венца. Во втором случае для узковенцовых цилиндрических зубчатых колес малого модуля параметры обрабатываемых колес задаются в определенном диапазоне:

- модуль -  $m = 2 \dots 5$  мм с шагом изменения – 0,5 мм;
- число зубьев -  $z_1 = 15 \dots 50$  с шагом изменения – 5;
- ширина зубчатого венца -  $b_1 = 10 \dots 20$  мм с шагом изменения – 2 мм.

Программа предусматривает три уровня решения задачи сравнительного анализа производительности процессов зубонарезания:

1-й уровень – определение основных физических параметров процесса. Как указывалось выше, в качестве такого параметра целесообразно выбирать максимальную толщину срезаемого слоя металла.

2-й уровень – расчет соотношения технологических подач или других параметров процессов зубонарезания, определяющих толщину срезаемого слоя и производительность обработки. Такими параметрами при отсутствии движения технологической подачи являются число режущих зубьев или диаметр инструмента, например для процессов кругового и кинематического зубопротягивания.

3-й уровень – определение основных времен и расчет относительной производительности зубонарезания цилиндрических колес различными способами.

Результаты расчетов на каждом предыдущем уровне в виде четырехмерных массивов являются исходными данными для последующего уровня.

Решение начинается с выбора базового процесса зубонарезания из списка. В список наряду с известными и широко применяемыми процессами предварительного зубонарезания включен ряд новых прогрессивных способов зубообработки резцовыми головками:

- *зубофрезерование стандартными червячными фрезами с осевой подачей;*
- *зубофрезерование многозаходными червячными фрезами с осевой подачей;*
- *зубофрезерование червячными фрезами большого диаметра с радиальной подачей;*
- *зубодолбление дисковыми долбьяками;*
- *зубострогание зуборезными гребенками;*
- *зуботочение обкаточными резцами;*
- *зубонарезание гребенчатыми фрезами;*
- *зубонарезание дисковыми твердосплавными резцовыми головками;*
- *круговое и кругодиагональное зубопротягивание;*
- *зубонарезание одновитковыми резцовыми головками;*
- *зубопротягивание дисковыми резцовыми головками.*

Большинство исходных параметров автоматически выбираются из массивов данных или рассчитываются в соответствии с заданными алгоритмами. Выбор основного технологического параметра, задание диапазона и шага его изменения осуществляются в диалоговом режиме. В качестве основного аргумента может быть использована величина технологической подачи (различной, в зависимости от выбранного процесса), либо конструктивный параметр инструмента, если движение подачи при обработке отсутствует.



Поскольку в некоторых зависимостях неизвестная величина технологического параметра не является явно выраженной, для ее вычисления использованы математические методы приближенного вычисления.

Решение задачи третьего уровня предполагает вычисление относительной производительности  $\tau^{1-2} = t_{o1}/t_{o2}$ , то есть отношения основных времён. Основное время зубонарезания для сравниваемых процессов определяется при соответствующих значениях технологических параметров, полученных при решении задач первого и второго уровня. Для объективного сравнения выбранных процессов, необходимо обеспечить одинаковую загрузку режущих кромок, то есть задается условие равенства максимальных толщин срезаемых слоев.

Решение задачи каждого уровня осуществляется последовательно. При этом возможен вывод промежуточных результатов на каждом уровне.

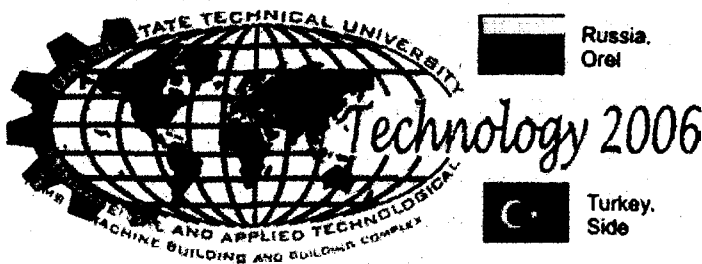
В результате получается четырехмерный массив значений относительной производительности в зависимости от технологического параметра, модуля, числа зубьев и ширины зубчатого венца обрабатываемого колеса.

Вывод результатов расчетов в виде четырехмерных массивов данных трудно представить и численно и графически. Наиболее удобными вариантами представления результатов расчетов являются пространственные диаграммы или плоские графики и таблицы. Для этого четырехмерные массивы данных послойно разбиваются на определенное количество двумерных, а результаты вычислений из каждого двумерного массива представляются численно в виде таблиц, и графически в виде семейства кривых на плоских графиках. Такой способ позволяет точно и наглядно оценить влияние каждого параметра процесса и обрабатываемого зубчатого колеса на производительность. А это, в свою очередь, открывает возможность определения рациональной области применения каждого из исследованных процессов зубонарезания цилиндрических узковенцовых прямозубых колес и выявления возможностей повышения эффективности операции зубообработки в целом.

Предлагаемая программа имеет достаточно удобный для пользователей интерфейс. Расчеты производятся быстро и точно. Результаты расчетов представляются в наглядном виде. Блочная структура программы позволяет расширять область исследования, добавляя новые процессы к списку анализируемых способов зубонарезания цилиндрических колес, а также рассматривая влияние других параметров на эффективность процессов зубонарезания. Программа имеет как исследовательский, так и прикладной характер. Наряду с проведением научных исследований в области анализа эффективности процессов зубонарезания цилиндрических колес, ее можно использовать в прикладных целях для выявления наиболее эффективных методов зубообработки в определенных конкретных производственных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Этин А.О. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийным инструментом. М.: ЭНИМС, 1994. 185 с.



УДК 621.833.002

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗУБООБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

А.А. Маликов, к.т.н., доцент  
Тульский государственный университет  
Тула, тел. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

## THE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL CIRCUITS OF GEARCUTTING OF SPUR GEARS

A.A. Malikov, Dr., Docent  
Tula State University  
Tula, tel. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

*This paper presents the analyze of traditional and different progressive technological processes of machining spur gears. High productivity of gear cutting is possible by using large diameter heads with cutting tools.*

В настоящее время изготовление цилиндрических зубчатых колес малого модуля ( $m=2...5$  мм) осуществляется по технологическим схемам, основанным на использовании традиционных процессов формообразования зубчатых венцов, таких как зубодолбление дисковыми долбьяками и червячное зубофрезерование. Последующая чистовая зубообработка производится, в основном, методом шевингования дисковыми шеверами.

На некоторых предприятиях при производстве цилиндрических зубчатых колес применяется процесс прикатывания зубьев эталонными обатниками в виде точно изготовленных и закаленных до высокой твердости зубчатых колес. Использование процесса пластического деформирования обрабатываемых зубьев требует повышенной точности предварительного зубонарезания. В результате появляется необходимость применения зуборезных инструментов более высоких классов точности и зубообрабатывающих станков, обладающих возможностью обеспечить необходимую точность, что приводит к определенным трудностям как с технической, так и с экономической

точек зрения. Поэтому преобладающее большинство заводов предпочитают изготавливать цилиндрические зубчатые колеса по традиционной технологической схеме с использованием проверенного многолетней практикой процесса шевингования, обладающего несравненно большим исправляющим эффектом нежели процесс прикатывания.

Таким образом, основной следует считать технологическую схему, в которой используются процессы зубодолбления и зубофрезерования червячными фрезами для предварительного формирования зубчатого венца и процесс шевингования для чистовой зубообработки (рис. 1).

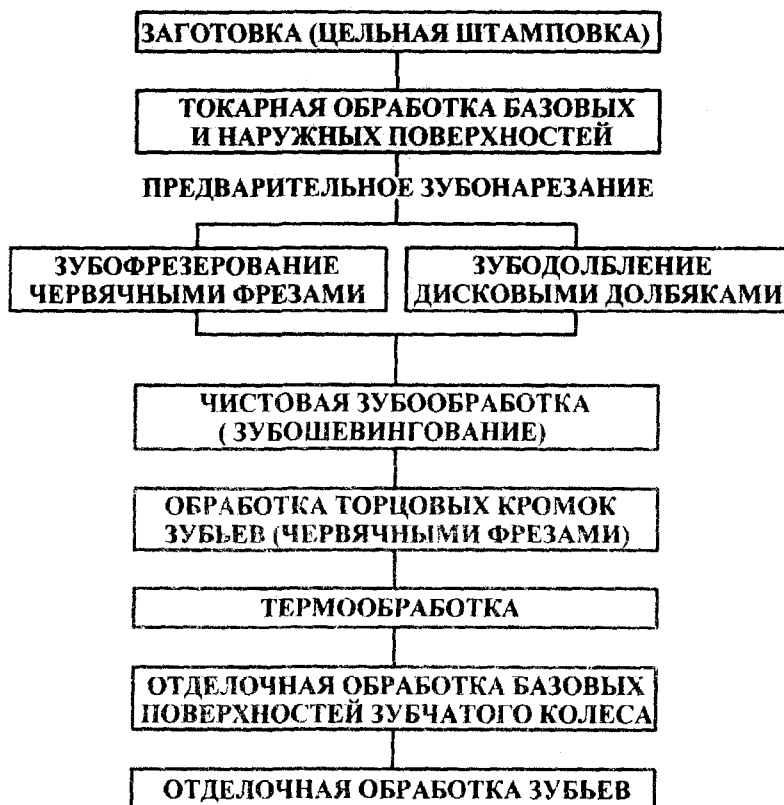


Рис. 1. Традиционная технологическая схема изготовления цилиндрических зубчатых колес

Совершенствование традиционной схемы осуществлялось, в основном, путем замены зубодолбления или зубофрезерования более производительными процессами. Так был создан процесс контурного зубодолбления, в котором используются резцовые головки с фасонными резцами, имеющими эвольвентный профиль. Все зубья венца заготовки обрабатываются одновременно по методу копирования. Для реализации этого процесса необходимо обеспечить очень высокую точность корпуса резцовой головки и самих резцов, что значительно повышает трудоемкость изготовления инструмента. Но даже при тщательной доводке резцов головки точность зубчатых колес, нарезанных этим способом, существенно уступает точности, характерной для традиционного зубодолбления и червячного зубофрезерования, а последующая чистовая зубообработка шевингованием, вследствие ограниченного исправляющего эффекта процесса, не обеспечивает требуемой точности колес.

Внедренные на ряде зарубежных автомобильных заводов процессы контурного зубопротягивания для предварительного формообразования наружных зубчатых венцов цилиндрических колес с последующим прикатыванием боковых поверхностей зубьев можно рассматривать как прогрессивную технологическую схему зубообработки. В этом случае нарезание зубьев осуществляется по методу копирования также, как и при использовании резцовых головок для контурного зубодолбления. Инструмент является специальным и предназначен только для обработки зубчатого колеса определенного модуля и числа зубьев. Следовательно, эти процессы могут применяться только в условиях массового производства. Кроме того, трудоемкость изготовления трубчатых протяжек как чашечного, так и брускового типа значительно выше, по сравнению с другими инструментами.

Производительность зубофрезерования может быть повышена, например, при использовании червячных фрез, работающих только с радиальной подачей. В этом случае применяются инструменты большого диаметра ( $D_o \geq 200$  мм), что в настоящее время не вызывает затруднений поскольку имеются сборные конструкции червячных фрез с поворотными рейками. Недостатком этого процесса зубообработки является наличие вогнутости на боковых поверхностях нарезаемых зубьев. Практически величина вогнутости не должна превышать  $2/3$  величины припуска под последующее шевингование. Как показали результаты опытно-промышленного внедрения процессов зубонарезания инструментами большого диаметра без продольной подачи, образующаяся вогнутость зубьев не оказывает ощутимого влияния на нормальное протекание процесса шевингования. Червячное зубофрезерование с радиальной подачей наиболее эффективно при обработке узкозубчатых зубчатых колес, характерных для производства мототехники. При использовании червячных фрез большого диаметра возможен также вариант комбинированной подачи - радиальное врезание с последующей продольной подачей.

Определенный интерес представляет использование многозаходных червячных фрез в технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес. Основным недостатком этих фрез является то, что с увеличением числа заходов закономерно снижается точность зубообработки. Поэтому реальной технологической схемой можно считать использование двухзаходных червячных фрез при обязательном условии обеспечения повышенной жесткости и соответствующей быстроходности зубофрезерных станков. Существенным препятствием эффективному внедрению многозаходных червячных фрез является недостаточная исправляющая способность процесса шевингования, которая находится в пределах одной, а в исключительных случаях - двух степеней точности. В связи с этим обстоятельством практически нецелесообразно использование для предварительного зубонарезания метода зуботочения, не смотря на высокие показатели по производительности.

Варианты прогрессивных технологических схем зубонарезания цилиндрических колес представлены на рис. 2 а, б.



Рис. 2. Варианты прогрессивных технологических схем зубонарезания цилиндрических колес

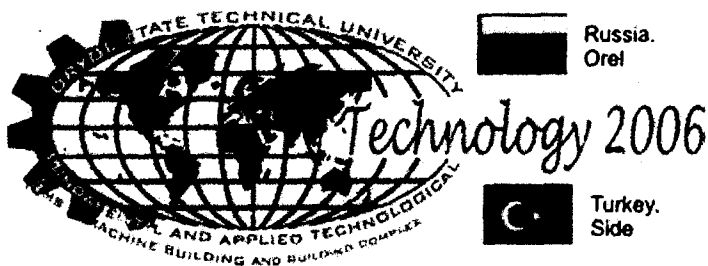
Существенное повышение эффективности зубообработки возможно при использовании нового вида зуборезного инструмента - резцовых головок большого диаметра дискового и червячного типа, разработанных на кафедре технологии машиностроения ТулГУ. Зубообработка резцовыми головками осуществляется по методу обкатывания без продольного перемещения инструмента вдоль оси заготовки, в связи с чем нарезаемые зубья имеют вогнутые боковые поверхности, как и при червячном зубофрезеровании с радиальной подачей. Наиболее близким аналогом червячному зубофрезерованию является зубонарезание резцовыми головками червячного типа. Основное различие заключается в том, что резцовые головки этого типа имеют только один неполный виток, образованный отдельными взаимозаменяемыми резцами, расположенными по винтовой линии, за счет чего обеспечивается непрерывность обработки зубчатого колеса. За один оборот резцовой головки вырезается одна впадина в заготовке, а полная обработка зубчатого колеса производится за  $z$  оборотов инструмента. В конструкции инструмента предусмотрен характерный не заполненный резцами сектор для установки заготовки на полную высоту зуба и деления при непрерывных вращательных движениях инструмента и обрабатываемого колеса. Производительность этого процесса, осуществляемого по методу обкатывающего зубопротягивания, не уступает контурному зубопротягиванию, в связи с чем технологическая схема зубообработки на основе эффективного использования одновитковых резцовых головок представляет определенный интерес и является весьма перспективной.

Резцовые головки дискового типа существенно отличаются от предыдущих тем, что взаимозаменяемые резцы в них располагаются в одной плоскости, образуя замкнутое кольцо, а сам процесс зубонарезания представляет совокупность отдельных движений заготовки в составе каждого цикла вырезания очередной впадины зубчатого венца. При установке заготовки середи-

на нарезаемого зубчатого венца должна совпадать с осевой плоскостью резцовой головки для обеспечения симметричности образующейся вогнутой боковой поверхности зубьев колеса. Профилирование зубьев производится путем обкатывания заготовки вдоль оси вращающейся резцовой головки, причем движение формообразования кинематически не связано с движением резания, что позволяет осуществлять процесс обработки на высоких скоростях резания (до 500 м/мин). После окончания движения подачи обкатывания заготовки производится деление на один зуб, после чего цикл зубонарезания повторяется и заготовка перемещается в обратном направлении при реверсировании движения обкатывания. Таким образом, за один двойной ход вырезаются две впадины зубчатого венца. Зубообработка дисковыми резцовыми головками обеспечивает высокую производительность процесса (1,2...1,8 с/зуб).

Резцовые головки червячного и дискового типа обеспечивают универсальность, как и червячное зубофрезерование, с одним ограничением по ширине нарезаемого зубчатого венца из-за вогнутости боковых поверхностей зубьев, что не оказывает существенного влияния на возможность их эффективного использования в современных технологических схемах изготовления узковенцовых цилиндрических зубчатых колес (рис. 2 в).

Проведенный анализ показывает, что все рассмотренные технологические схемы имеют одинаковую структурную основу, которая предусматривает двухступенчатую зубообработку: предварительную и чистовую. Именно это обстоятельство препятствует широкому внедрению прогрессивных заготовок с предварительно оформленным зубчатым венцом, поскольку обработка их зубьев производится также за две операции, что не позволяет сократить общий производственный цикл изготовления зубчатого колеса и получить ощутимый экономический эффект.



УДК 621.914.14

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ЗУБОНАРЕЗАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ОГИБАЮЩИМИ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ

В.И. Сотников, к.т.н., доц., Д.В. Агарков

Орловский государственный технический университет

Россия, Орел, тел.: (4862)541419, факс: (4862)555524, E-mail: asis@ostu.ru

## PRODUCTIVE TEETHING CYLINDRICAL WHEELS BENDING DISK MILLS

V.I. Sotnikov, Ass. Prof., D.V. Agarkov

Oryol State Technical University

Russia, Oryol, tel.: (4862) 541419, fax: (4862) 555524, E-mail: asis@ostu.ru

*In OrelSTU is designed the technological scheme teething of cylindrical wheels of the large unit by special hard-alloy disk mills with design feeding of cutting crimps. The scheme ensures magnification of efficiency of a teething.*

При изготовлении зубчатых колес крупного модуля ( $m > 8$  мм) наиболее сложными и трудоемкими операциями технологического процесса являются операции, связанные с обработкой зубьев. На эти операции приходится до 70 процентов трудоемкости механической обработки всего зубчатого колеса. Такое положение объясняется, прежде всего, необходимостью удаления из впадин зубчатого венца большого объема металла, что требует разделения на операции чернового и чистового зубонарезания. Кроме того, сказывается использование зуборезных инструментов, изготовленных из быстрорежущих сталей, которые обеспечивают сравнительно низкие режимы резания. Поэтому актуальной задачей для производства крупномодульных колес является создание процессов и новых технологических схем зубонарезания, которые бы наряду с высокой производительностью обеспечивали и требуемое качество рабочих эвольвентных поверхностей зубчатых колес.

Наиболее распространенными процессами формирования зубчатых венцов цилиндрических колес крупного модуля являются процессы фрезеро-

вания червячными и дисковыми зуборезными фрезами. Анализ зависимостей для определения основного технологического времени этих процессов позволяет выявить направления повышения их производительности. К таким направлениям относятся традиционные для любого процесса резания направления – увеличение скорости резания, подачи и сокращение длины перемещения инструмента, а также характерные только для этих процессов – увеличение числа заходов червячной фрезы или числа одновременно обрабатываемых впадин колеса при использовании дисковых зуборезных фрез.

Самым эффективным из перечисленных направлений является увеличение скорости резания, которое для зуборезных инструментов достигается их оснащением твердым сплавом. Однако использование этого направления для процесса червячного зубофрезерования встречает серьезные затруднения. Они связаны как со сложностью изготовления и эксплуатации твердосплавных червячных фрез, так и с особенностями кинематики самого процесса. При червячном зубофрезеровании требуется строгое согласование формообразующих вращательных движений фрезы и заготовки, которые обеспечивают кинематическое огибание эвольвентной поверхности зубьев колеса. Значительное увеличение скорости резания приводит к недопустимо высокой скорости скольжения в червячной делительной паре зубофрезерного станка, *что вызывает быстрый ее износ и снижение точности нарезаемых колес.* Поэтому, несмотря на многочисленные исследования и попытки использования в производственных условиях процесса скоростного зубонарезания твердосплавными червячными фрезами, широкого практического распространения до настоящего времени этот процесс не получил.

Вместе с тем, многолетний производственный опыт ряда машиностроительных предприятий показывает, что это направление успешно реализуется на операции предварительной прорезки впадин при использовании твердосплавных дисковых зуборезных фрез. Этот процесс создает условия для наиболее полного использования режущих свойств твердого сплава. Достигается это благодаря наличию независимого привода главного движения (вращения фрезы) в сочетании с возможностью обеспечения высокой жесткости технологической системы при неподвижной во время обработки каждой из впадин зубчатого венца заготовке.

Способ зубонарезания, разработанный в ОрелГТУ, позволяет существенно расширить возможности данного процесса. Способ является гибридным и позволяет соединить положительные качества методов обката и копирования при зубонарезании. Данный способ основан на использовании конструктивного огибания эвольвентной поверхности зубьев колеса прямолинейными режущими лезвиями зубьев дисковой фрезы. Такое огибание позволяет не только эффективно использовать твердый сплав для дискового зуборезного инструмента, но и управлять величиной образующейся погрешности формообразования эвольвентной поверхности зубьев колеса.

На основе этого способа разработана и реализована в производственных условиях высокопроизводительная технологическая схема зубонарезания цилиндрических прямозубых колес крупного модуля. Схема включает



операции предварительной и чистовой обработки зубьев, которые выполняются на скоростных зубофрезерных станках, работающих по автоматическому циклу единичного деления заготовки, с использованием дисковых фрез прогрессивных конструкций. Черновая и чистовая дисковые зуборезные фрезы оснащаются неперетачиваемыми пластинами твердого сплава, которые выполнены в форме прямоугольного параллелепипеда с радиусным профилем на вершинах. За счет определенного расположения режущих пластин обеспечивается требуемая схема формирования профиля впадин зубчатого колеса на операциях предварительного и чистового зубонарезания (рис. 1).

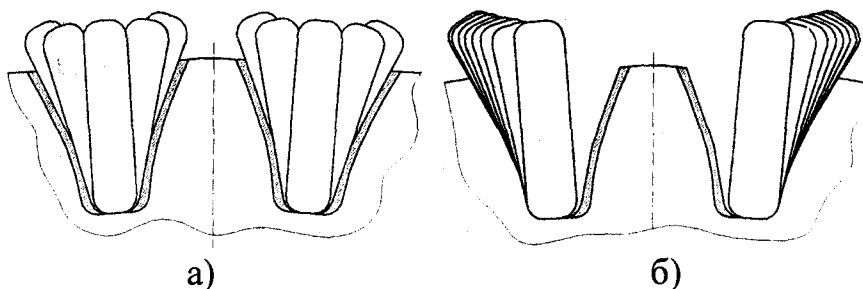


Рис. 1. Схемы формирования профиля впадин зубчатого колеса черновой (а) и чистовой (б) дисковыми зуборезными фрезами

Технологическая схема предусматривает на операции предварительного зубонарезания удаление из впадин зубчатого венца основного объема металла, окончательное формирование дна впадин и образование достаточно равномерного и рационального по форме припуска для последующей обработки только на боковых поверхностях и галтелях зубьев. На операции чистового зубонарезания осуществляется окончательное формирование эвольвентных поверхностей и галтелей зубьев колеса по схеме конструктивного огибания.

Двухрядная черновая дисковая фреза (рис. 2) за один проход одновременно прорезает две соседние впадины зубчатого венца. Для этого режущие пластины поочередно располагаются на периферии, а также с внешней или внутренней стороны каждого ряда. Причем все зубья черновой фрезы объединены в группы, каждая из которых формирует свой сравнительно небольшой участок профиля впадины колеса. Зубья каждой группы имеют идентичное расположение режущих пластин, а количество групп принимается в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса из условия обеспечения равномерного припуска на операции чистового зубонарезания. С целью выравнивания загрузки режущих пластин зубья в каждой группе располагаются равномерно по окружности фрезы, а их количество принимается в зависимости от объема металла, удаляемого зубьями группы из впадины колеса.

Чистовая дисковая фреза (рис. 3) также имеет двухрядную конструкцию, в которой режущие пластины размещаются только с внешней стороны каждого ряда. Причем в каждом ряду режущие пластины располагаются под изменяющимися от зуба к зубу углами профиля, что обеспечивает конструктивную подачу режущих лезвий и огибание эвольвентной поверхности. Величина профильных углов режущих лезвий зубьев фрезы определяется из ус-

ловия выравнивания и минимизации погрешности формообразования эвольвентной поверхности зубьев колеса.

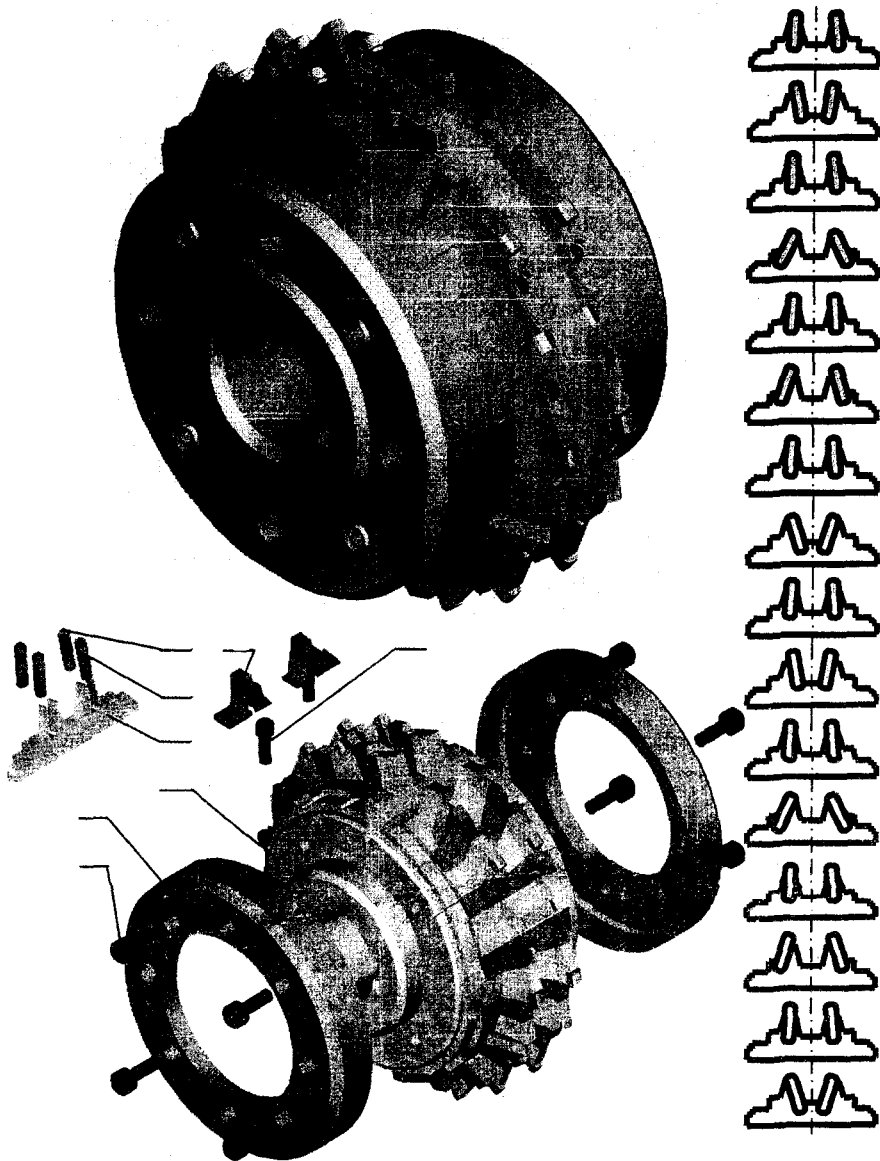


Рис. 2. Конструкция черновой дисковой зуборезной фрезы: а) – в собранном виде; б) – в разобранном виде; в) – схема и последовательность расположения режущих пластин во вставках

Технологическая схема реализована при изготовлении цилиндрических прямозубых колес модуля 10 мм, с числом зубьев 40 и шириной зубчатого венца 70 мм. Материал зубчатых колес - сталь 30ХГТ с НВ 163-207. Предварительное и чистовое нарезание зубьев выполнялось на модернизированном зубофрезерном полуавтомате модели ЕЗ-59 пакетом из двух колес со скоростью резания 156 м/мин и рабочей продольной подачей 327 мм/мин. Для обеспечения требуемой скорости резания и повышения точности деления заготовки у станка были модернизированы цепь главного движения и механизм единичного деления. Фрезы выполнены двухрядными с наружным диаметром 250 мм и имели в каждом ряду по 16 зубьев, оснащенных режущими пластинами из твердого сплава Т5К10 и Т15К6. Точность расположения ре-

жущих лезвий зубьев фрез обеспечивалась в пределах до 0,015 мм для чистовых фрез и 0,03 мм для черновых фрез.

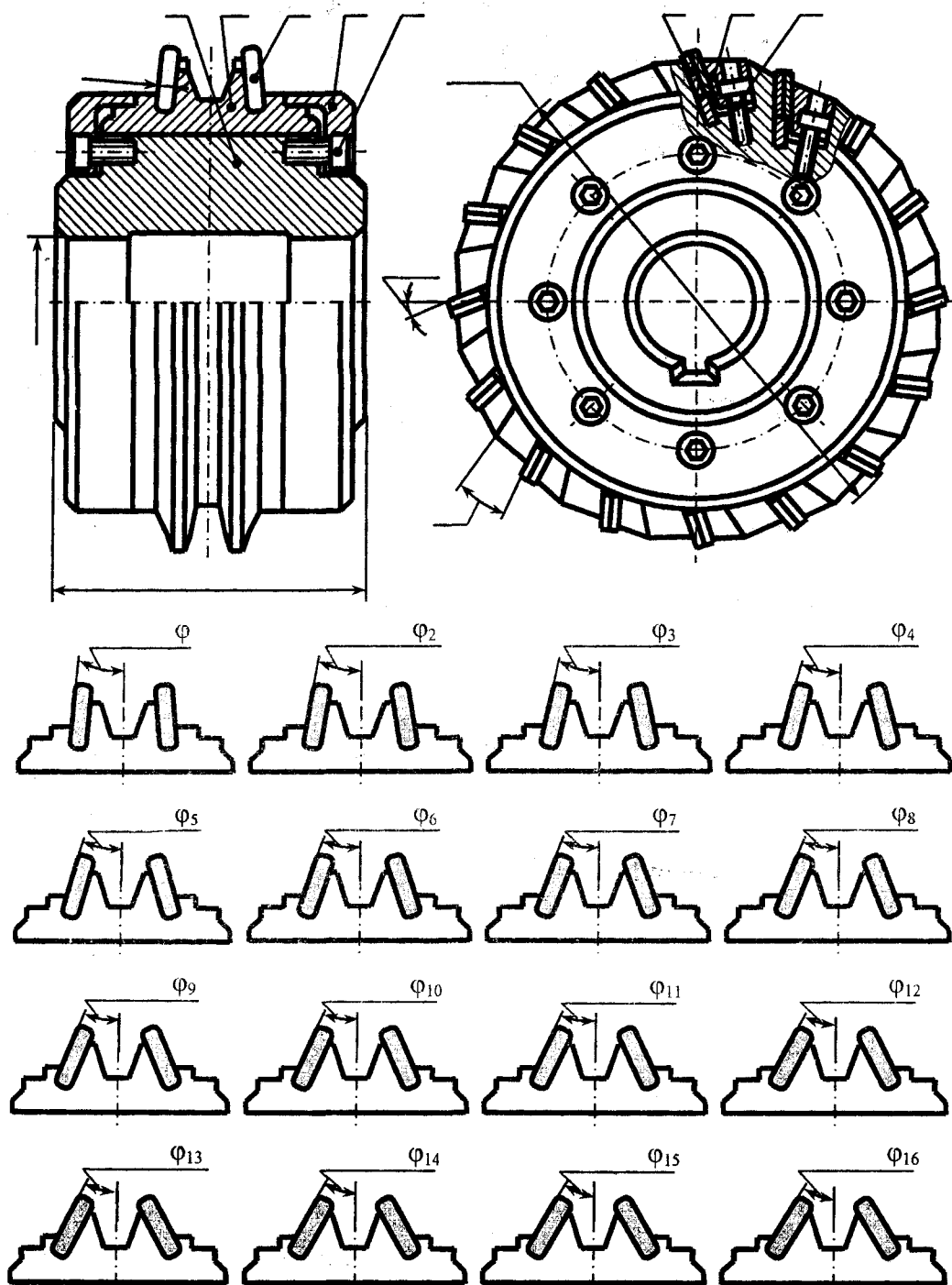
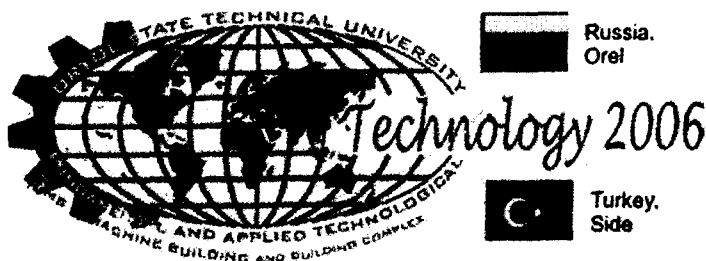


Рис. 3. Конструкция чистовой огибающей дисковой зуборезной фрезы

Применение предлагаемой технологической схемы позволяет увеличить производительность предварительного и чистового зубонарезания соответственно в 4,2 и 2,7 раза по сравнению с применяемым зубонарезанием червячными фрезами из быстрорежущей стали Р6М5. При измерении партии обработанных зубчатых колес установлено их соответствие 8-9 степени точности по ГОСТ 1643-81.



УДК 621.825.5

## К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА И ЗВЕЗДОЧЕК ЦЕПНЫХ МУФТ

П.Н. Учаев, д. т. н., профессор, С.Г. Емельянов, д.т.н., профессор,  
С.А. Сергеев, аспирант

Курский государственный технический университет  
Курск, тел. (4712) 519633, 564349

## TO DESIGNING TOOTH-CUTTING OF THE TOOL AND SPROCKETS OF CHAIN CLUTCHES

P.N. Uchaev, Prof., Dr., S.G. Emeljanov, Dr., Prof.,  
S.A. Sergeev, The post-graduate  
Kursk state technical university  
Kursk, ph. (4712) 519633, 564349

*Are solved problems the machine tool gearings, allowing to define the valid parameters of cross-sections tooth sprockets-on half of clutches and tooth-cutting the tool.*

Проведение комплексного исследования процессов, сопровождающих работу передаточного механизма, для создания научных основ анализа и синтеза цепных муфт позволит повысить их технико-экономические показатели и, как следствие этого, эффективность эксплуатации машин.

На данном этапе развития науки и техники конечной целью исследований цепных муфт является создание научных основ и принципов системы автоматизированного проектирования звездочек-полумуфт и инструмента для их изготовления с учетом основных эксплуатационных требований, предъявляемых к профилю зубьев звездочек-полумуфт, а также с учетом возможного применения прогрессивных технологических способов формообразования зубьев при использовании минимального числа профилирующего инструмента.

Основные направления исследований должны быть следующими: 1) создание прогрессивных методов определения параметров зубьев звездочек-

полумуфт и зуборезного инструмента; 2) разработка методики исследования станочного зацепления; 3) получение алгоритма оптимального проектирования звездочек-полумуфт и зубоформирующего инструмента для повышения качества цепных муфт; 4) прогнозирование главных направлений совершенствования конструкций звездочек-полумуфт и зубоформирующего инструмента; 5) создание основ системы автоматизированного проектирования звездочек-полумуфт и инструмента [1].

Рассмотрим станочное зацепление при обработке звездочек-полумуфт методом обката для случаев, когда технологическая пара деталь – инструмент представлена парами колесо – рейка и колесо – колесо, с тем, чтобы определить действительные параметры профиля зубьев звездочки-полумуфты при использовании зубоформирующего инструмента типа «рейка» и «колесо» с заданным исходным производящим контуром (прямая задача), а также чтобы найти действительные параметры профиля зубоформирующего инструмента указанных типов при определенных параметрах профиля зубьев звездочек-полумуфт (обратная задача). Ниже приведены результаты анализа основных параметров профилей: действительного, получаемого при использовании зубоформирующего инструмента реечного типа с исходным производящим контуром по ГОСТ 15127, и теоретического – по ГОСТ 591.

Для решения прямой и обратной задач была использована теория огибающей [2]. Следует отметить, что для прямой задачи огибаемой является исходный производящий контур инструмента, а для обратной задачи – определенный профиль зубьев звездочки-полумуфты. Решение задач сводится к определению параметров огибающей поверхности, при этом огибающая поверхность в прямой задаче будет искомым профилем зубьев звездочки-полумуфты, а в обратной – искомым производящим контуром инструмента. Огибающая описывается системой уравнений

$$\begin{cases} R = R(u, z, \varphi); \\ \frac{\partial R}{\partial u} \cdot \frac{\partial R}{\partial z} \cdot \frac{\partial R}{\partial \varphi} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $R$  – радиус-вектор точки огибаемой поверхности;  $u, z$  – параметры точки на данной поверхности;  $\varphi$  – параметр движения.

При решении задач введем следующие системы отсчета: 1)  $\tilde{S}_j(x_j, y_j, z_j)$  – подвижная декартова система, жестко связанная со звездочкой-полумуфтой, профиль зубьев которой (при решении прямой задачи) в ней определяется (рис. 1), а в обратной – выполняет роль огибаемой (рис. 2); 2)  $\tilde{S}_i(x_i, y_i, z_i)$  – подвижная декартова система, жестко связанная с инструментом, профиль зубьев которого (при решении прямой задачи) в ней задается (рис. 1), а в обратной – в ней определяется (рис. 2); 3)  $S(x, y, z)$  – неподвижная декартова система в начальном положении, когда  $\varphi$  – угол поворота звездочки-полумуфты и для прямой и для обратной задач равен нулю, системы  $S_i$  и  $S$  совпадают друг с другом.

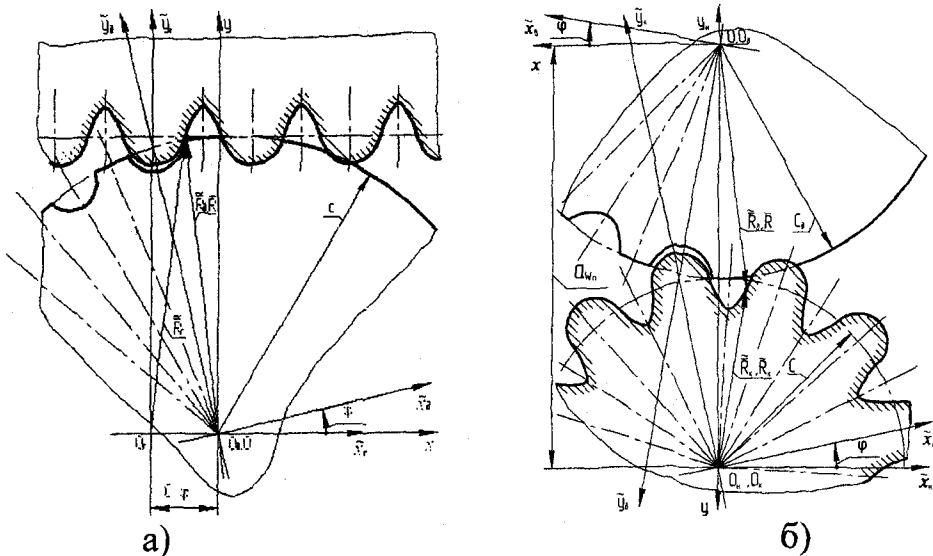


Рис. 1. Схема станочного зацепления технологической пары деталь-инструмент для определения параметров профиля детали при использовании инструмента: а – реечного типа; б – типа колесо

Решение системы уравнений (1) заключается в приведении ее к одному векторно-параметрическому уравнению вида  $R = R(u, z)$ , которое позволяет с учетом комбинаций обкаточных движений, характерных для инструмента реечного типа (рис. 1, а), получить параметры профиля звездочки-полумуфты

$$x_j = x_i(u) \cos \varphi + y_i(u) \sin \varphi - c \varphi \cos \varphi, \quad (2)$$

$$y_j = y_i(u) \cos \varphi - x_i(u) \sin \varphi + c \varphi \sin \varphi, \quad (3)$$

$$\varphi = \{tg \beta_i(u) [y_i(u) - c] + r_i(u)\} / c. \quad (4)$$

Параметры профиля детали, получаемые обкаточным инструментом типа «колесо», с определенным профилем и соответствующими параметрами движения (рис. 1 б) следующие:

$$x_j = x_i(u) \cos(\varphi + n\varphi) - y_i(u) \sin(\varphi + n\varphi) - a_{\omega_0} \sin \varphi, \quad (5)$$

$$y_j = x_i(u) \sin(\varphi + n\varphi) + y_i(u) \cos(\varphi + n\varphi) + a_{\omega_0} \cos \varphi, \quad (6)$$

$$\varphi = n^{-1} \arcsin \left\{ (1+n) [-x_i(u) \cos \beta_i(u) - y_i(u) \sin \beta_i(u)] / a_{\omega_0} \right\} - \beta_i(u). \quad (7)$$

В (2) – (7)  $x_i(u), y_i(u)$  – параметры профиля инструмента (огibaемой) в подвижной системе координат  $\tilde{S}_i$ ;  $\beta_i(u)$  – угол наклона касательной к профилю инструмента в соответствующей его точке и осью абсцисс системы координат  $\tilde{S}_i$ ;  $c$  – радиус центриды;  $n$  – передаточное число:  $n = a_{\omega_0} / c - 1$ ;  $a_{\omega_0}$  – межосевое расстояние звёздочки-полумуфты и инструмента типа «колесо».

Таким образом, полученные решения (2) – (7) позволяют определить параметры действительного профиля зубьев звездочки-полумуфты при известных параметрах профиля инструмента и их обкаточных движений.

Обратная задача заключается в определении параметров профиля зубоформирующего инструмента при заданных параметрах профиля зубьев

звездочки-полумуфты. В результате ее решения для инструмента реечного типа (рис. 2) будем иметь

$$x_i = x_j(u) \cos \varphi - y_j(u) \sin \varphi + c \varphi, \tag{8}$$

$$y_i = x_j(u) \sin \varphi + y_j \cos \varphi, \tag{9}$$

$$\varphi = \arcsin \left\{ \left[ y_j(u) \sin \beta_j(u) + x_j(u) \cos \beta_j(u) \right] / c \right\} - \beta_j(u). \tag{10}$$

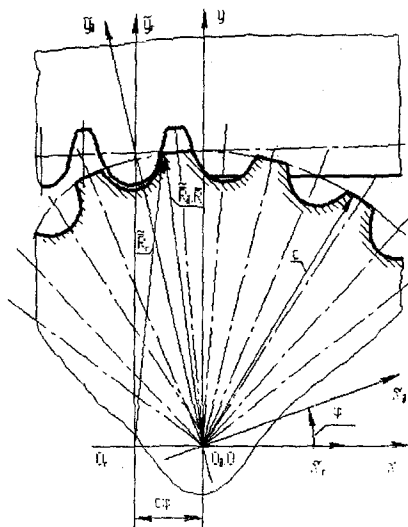


Рис. 2. Схема станочного зацепления технологической пары деталь-инструмент для определения параметров профиля инструментальной рейки

Заметим, что параметры профиля зубоформирующего инструмента типа «колесо» можно определить при соответствующем использовании уравнений (5) – (7).

Полученные результаты позволяют сравнить параметры действительного профиля, сформированного инструментом реечного типа, например червячной фрезой, с параметрами теоретического (стандартного) профиля. При этом в качестве критериев для сопоставления профилей приняты параметры, наиболее существенно влияющие на работоспособность цепной передачи: углы и радиусы кривизны профиля в соответствующих точках в пределах его рабочего участка.

Сравнение проведено по разработанной программе «COMPARE», реализованной на ЭВМ IBM PC. В программу были введены следующие исходные данные.

1. Характеристика рабочего зацепления: шаг цепи  $P=15,875$  мм; диаметр ролика  $d_r=10,16$  мм; число зубьев звездочки-полумуфты: а)  $z=14$ ; б)  $z=16$ ; в)  $z=18$ .

2. Характеристика инструмента в соответствии с ГОСТ 15127: а) исполнение I; б) исполнение II.

3. Характеристика станочного зацепления; шаг исходного производящего контура: а)  $P_{ин} = P\pi / z \sin 0.5\tau$ ; б)  $P_{ин} = 1,011P$ ; радиус центроиды  $c = P(x + \operatorname{cosec} 0.5\tau)$ , где  $\tau$  – угловой шаг звездочки-полумуфты,  $\tau = 360^\circ / z$ ;  $x$  – коэффициент смещения, характеризующий величину смещения начальной прямой инструмента относительно центроиды обрабатываемой детали,

$$\chi = 0,5(1,011z / \pi - 1 / \sin 0.5\tau) \quad (11)$$

4) Характеристика теоретического (стандартного) профиля в соответствии с ГОСТ 591: а) исполнение I; б) исполнение II.

Таблица 1

Максимальные отклонения параметров действительного профиля зубьев звездочек от теоретического в пределах рабочего участка

z		14	16	18
$\Delta\alpha_{\max}$	$R_{ин} = \frac{R\pi}{z \sin 0.5\tau}$ (тип а)	18,68%	13,05%	11,08%
	$R_{ин} = 1,011P$ (тип б)	15,79%	12,84%	14,59%
$\Delta\rho_{\max}$	$R_{ин} = \frac{R\pi}{z \sin 0.5\tau}$ (тип а)	37,61%	25,93%	15,26%
	$R_{ин} = 1,011P$ (тип б)	36,56%	25,66%	17,64%

Принятые обозначения: z – число зубьев звездочки-полумуфты;  $\Delta\alpha_{\max}$  – максимальное отклонение угла действительного профиля зуба звездочки-полумуфты от теоретического в пределах рабочего участка.

$$\Delta\alpha_{\max} = \frac{\alpha_d - \alpha_m}{\alpha_m} \times 100\%; \quad \Delta\rho_{\max} - \text{максимальное отклонение радиуса}$$

кривизны действительного профиля зуба звездочки-полумуфты от теоретического в пределах рабочего участка,  $\Delta\rho_{\max} = \frac{\rho_d - \rho_m}{\rho_m} \times 100\%$

Результаты расчетов показали, что исполнение инструмента (I или II) не оказывают значительного влияния на отклонения исследуемых параметров. Максимальные отклонения действительных параметров профилей зубьев звездочек-полумуфт от теоретических, в пределах их рабочих участков, представлены в таблице.

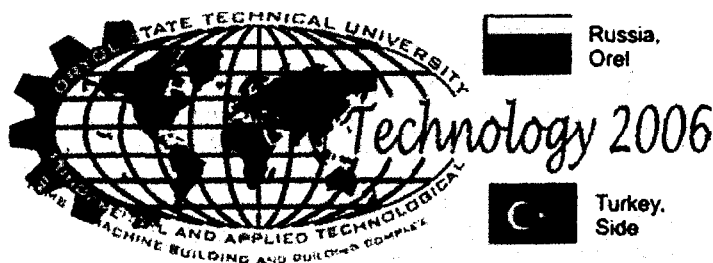
Как видно из таблицы, у звездочек-полумуфт, нарезаемых инструментом в виде рейки, при  $z \leq 16$  величины  $\Delta\alpha_{\max}$  и  $\Delta\rho_{\max}$  более значительны в тех случаях, когда шаг инструмента взят по типу а. Если  $z > 16$ , то максимальные отклонения параметров профиля зубьев звездочек-полумуфт имеют место при использовании инструмента с шагом, взятым по типу б.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицкий, И.И. К проектированию зуборезного инструмента и звездочек цепных передач [Текст] / И.И. Лисицкий, П.Н. Учаев, К.П. Жуков // детали машин. Изв. вузов. М.: Машиностроение. 1986. №6. С. 47-51.

2. Лашнев, С.И. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами [Текст]: монография / С.И. Лашнев, А.Н. Борисов, С.Г. Емельянов; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 391 с.





УДК 621.833

## СБОРНЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЧЕРВЯКА

Н. Д. Феофилов, д. т. н., проф., А. В. Колобаев, асп.

Тульский государственный университет

Тула, тел. (4872) 332310, факс (4872) 332310, e-mail: kolobaeff@rambler.ru

### HOBS BASED ON INVOLUTE SCREW

N. D. Feofilov, Prof., Dr., A. V. Kolobaev, post-graduate

Tula, tel. (4872) 332310, fax (4872) 332310, e-mail: kolobaeff@rambler.ru

*There are elements of calculation of hobs with involute screw clearance surfaces are quoted. Conditions of rotate of the hob's rack are determined.*

Внедрение в производство цилиндрических зубчатых колес зубофрезерных станков с ЧПУ с высокой технической и технологической гибкостью связано с изменением технологической подготовки операции зубофрезерования, в которой важным компонентом является зубообрабатывающий инструмент. По конструкции фрезы применяются монолитными, составными и сборными. Наиболее гибкими и технологичными в настоящее время являются сборные фрезы. Применение сборных инструментов позволяет не только расширить возможности операции зубофрезерования, но и унифицировать производство таких инструментов.

В отечественной и зарубежной практике производства зубчатых колес широкое распространение получили сборные червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками.

Более эффективной и жесткой является конструкция червячной фрезы с торцовыми крышками (рис. 1), фиксирующими комплект реек в радиальном и осевом направлениях.

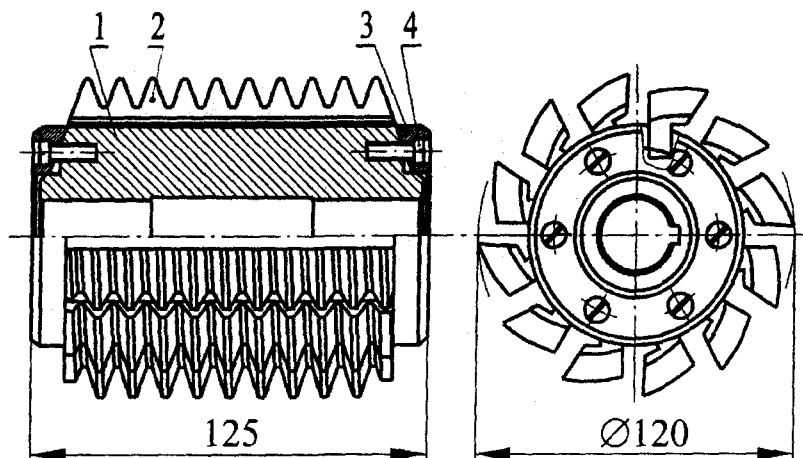


Рис. 1. Конструкция фрезы  $m=4,25$  мм :

1 – корпус; 2 – комплект реек; 3 – крышка; 4 – винт

Фрезы этого типа применяются в серийном и массовом производстве зубчатых колес, подвергаемых шевингованию или шлифованию. С точностной точки зрения к ним предъявляются такие же требования, как и к фрезам общего назначения. Однако увеличенные почти в два раза кинематические задние углы у боковых режущих кромок сборных фрез по сравнению с заточенными, позволяют увеличивать число заходов фрез до трех-четырех.

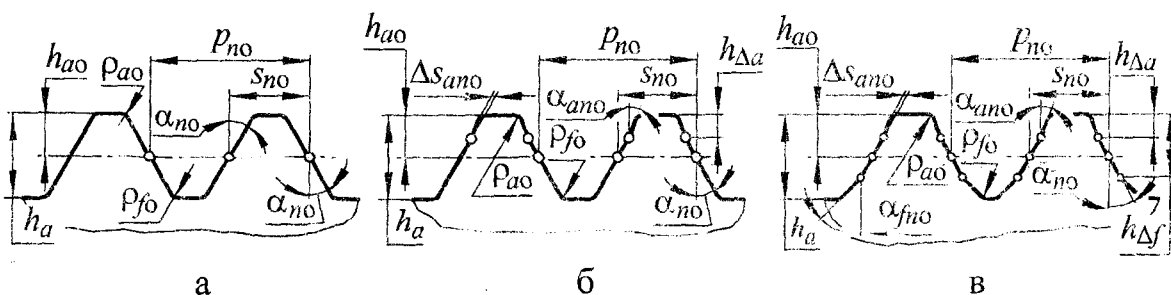


Рис. 2. Форма зубьев производящего контура:

а - тип 1 для шевингования и шлифования колес с модулями до 2 мм;

б - тип 2 для шевингования колес в диапазоне модулей 2...3,5 мм и шлифования с модулями свыше 2 мм;

в - тип 3 для шевингования колес с модулем свыше 3,5 мм.

В конструктивном отношении фрезы под шевингование и шлифование отличаются от фрез общего назначения наличием модификации профиля. Фрезы типа 1 (рис. 2, а) имеют уменьшенный профильный угол, фрезы типа 2 - с утолщением на головке зуба – усиками, а фрезы типа 3 дополнительно к усикам имеют утолщения – фланки на ножке зуба. Целью модификации профиля фрез является улучшение условий шевингования и шлифования за счет определенного распределения припуска по боковым сторонам зубьев колеса, а также их подрез у основания зуба, который исключает из резания вершинные кромки шевера и периферию шлифовального круга. Срез головки зуба колеса устраняет образование на ней заусенцев во время чистовой обработки.

Для сборных червячных фрез величину модификации профиля в осевом сечении производящего червяка можно определять расчетным путем или из технических условий на монолитные фрезы по ГОСТ 9324-80 Е.

Червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками используются в двух вариантах:

- с одним корпусом, выступающим в качестве рабочего и технологического;
- с двумя корпусами – рабочим, необходимым для эксплуатации фрезы, и технологическим, в котором производится профилирование комплекта реек.

Для первого варианта важным является определение условия поворота рейки в такое положение, когда ее задние поверхности будут располагаться на винтовой цилиндрической поверхности. При этом естественно существование однозначной взаимосвязи между диаметрами рабочего и технологического червяков. Для второго варианта основным является расчет такого диаметра технологического червяка, который обеспечивает наименьшее искажение профиля фрезы при переточках.

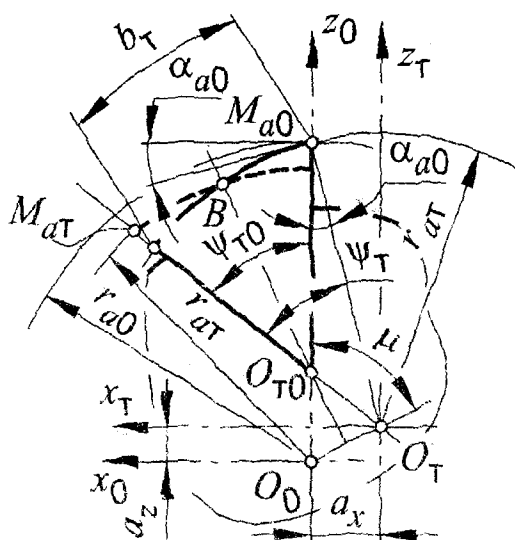


Рис. 3. Схема к расчету условия поворота рейки

Для фрез, изготовленных по первому варианту, при повороте реек на 180° корпус выполняет функцию технологического приспособления. В таком положении задние поверхности реек располагаются на винтовой поверхности, ход которой равен ходу витков основного червяка.

Исходными данными для расчета являются: задний угол на вершине режущей рейки  $\alpha_{a0}$ , радиус технологического червяка  $r_{aT}$  и ширина рейки  $b_T$  по дуге окружности технологического червяка (рис. 3).

Так как при профилировании винтовой поверхности технологического червяка и эксплуатации фрезы используется один и тот же корпус, то поворот режущих реек в пазах осуществляется вокруг биссектрисы  $BO_{T0}$  торцового угла профиля паза  $\psi_{T0}$ .

Взаимосвязь радиусов рабочего (основного) червяка и технологического определяется по зависимости

$$r_{a0} = \frac{r_{aT} \cos[0,5(r_{aT} \alpha_{a0} - b_T)/r_{aT}]}{\cos[0,5(r_{aT} \alpha_{a0} + b_T)/r_{aT}]}$$

Возможны три наиболее технологичных формы пазов и реек (рис. 4):

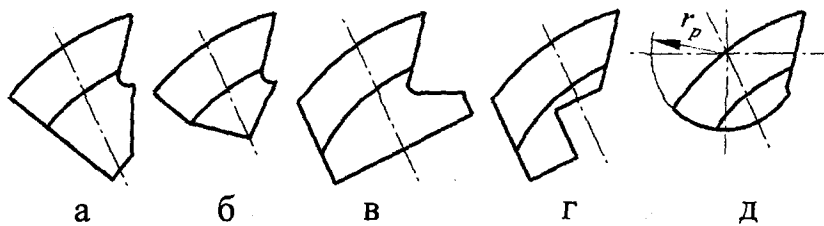


Рис. 4. Варианты форм реек и пазов в корпусе фрезы с прямыми пересекающимися боковыми сторонами (рис. 4, а, б); с параллельными боковыми сторонами (рис. 4, в, г); с базовой поверхностью очерченной по дуге окружности (рис. 4, д)

Ширина рейки  $b_0$  на окружности вершин зубьев фрезы определяется запасом на переточки и не стачиваемой частью, обеспечивающей необходимую прочность рейки.

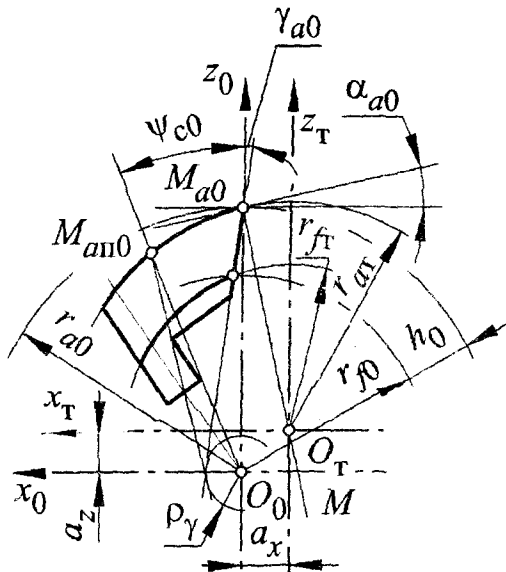


Рис. 5. Схема к расчету радиуса технологического червяка с учетом переточек

Для фрез, комплект реек которых профилируется в специальном технологическом корпусе, исходными данными для расчета являются: количество режущих реек  $z_{10}$ , рассчитываемое в зависимости от допустимой нагрузки на режущие зубья, например толщины срезаемого слоя или погрешности бокового профиля  $f_f$  детали, подлежащей обработке; высота зуба обрабатываемой детали  $h_1$ ; задний  $\alpha_{a0}$  и передний  $\gamma_{a0}$  углы на вершине режущей рейки в рабочем корпусе; геометрические размеры рейки с учетом запаса ее ширины на переточки.

При заданном заднем угле  $\alpha_{a0}$  на вершинной режущей кромке фрезы с радиусом  $r_{a0}$  (рис. 5), на прямой  $M_{a0}M$ , проходящей через точку  $M_{a0}$ , можно выбрать множество точек, определяющих множество центров  $O_T$  окружностей технологических червяков. При изменении положения центра на

прямой  $M_{a0}M$  будет меняться и радиус окружности технологического червяка  $r_{ат}$ . Однако не все червяки будут удовлетворять точностным требованиям, т. е. обеспечивать наименьшее искажение профиля при переточках. Тогда при выбранном радиусе  $r_{a0}$  радиус окружности выступов технологического червяка определяется по формуле

$$r_{ат} = \frac{r_{a0}}{\cos \alpha_{a0} + \operatorname{tg} \beta_{\tau} \sin \alpha_{a0}},$$

где  $\cos \beta_{\tau} = \frac{2 - \cos \psi_{c0} + 2 \sin \psi_{c0} \sqrt{1 - \cos \psi_{c0}}}{5 - 4 \cos \psi_{c0}}$ ;  $\psi_{c0} = b_{\alpha} (j_{см} + 1) / r_{a0}$  - угол стачивания

режущей рейки, зависящий от количества переточек фрезы, технологических и экономических факторов процесса зубофрезерования;  $b_{\alpha}$  - величина стачивания задней поверхности за одну переточку, немного превышающая величину износа этой поверхности;  $j_{см}$  - количество смен инструмента на переточки.

Разработанная конструкция сборной червячной фрезы предназначена для зубофрезерования цилиндрических эвольвентных зубчатых колес. Учитывая, что в настоящее время отсутствуют технологические сложности с профилированием абразивных кругов для шлифования задней винтовой поверхности фрезы, то ее целесообразно проектировать на основе эвольвентного производящего червяка. Это исключает появление органических погрешностей, которые имеются у фрез, спрофилированных на основе архимедова или конволютного червяков.

Профилем эвольвентной винтовой поверхности в плоскости, касательной к основной окружности, является прямая линия. Эвольвентная винтовая поверхность представляет собой совокупность двух координатных линий - образующей прямой (координатной линии  $u$ ), являющейся прямобочным профилем червяка заданным в касательной плоскости к основному цилиндру червяка и направляющей линии (координатной линии  $\vartheta$ ), представляющей собой линию, по которой совершаю винтовое движение точки образующей прямой (рис. 6). Таким образом, эвольвентная винтовая поверхность представляет собой сетку координатных линий  $u$  и  $\vartheta$  и точка, находящаяся на этой поверхности, определяется двумя независимыми координатами: длиной образующей прямой  $u$  и углом развернутости эвольвенты  $\vartheta$ , нормалью к которой является проекция образующей линии.

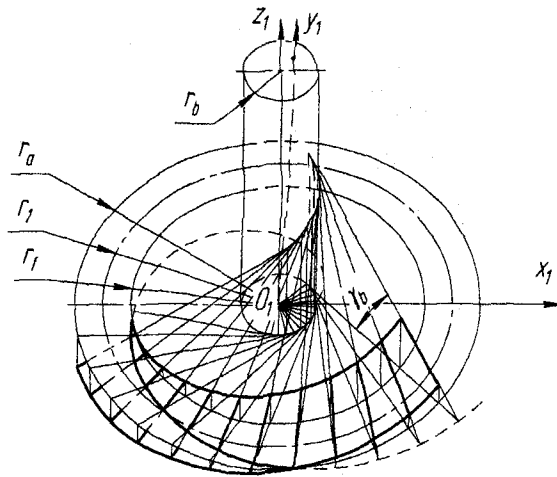


Рис. 6. Схема образования стороны эвольвентной винтовой поверхности

Эвольвентная винтовая поверхность, образованная винтовым движением режущей кромки рейки фрезы описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x_{LR1} = r_0 \cos \vartheta + u_{LR} \cos \gamma_b \sin \vartheta, \\ y_{LR1} = r_0 \sin \vartheta - u_{LR} \cos \gamma_b \cos \vartheta, \\ z_{LR1} = p(\vartheta - \vartheta_0) \mp (u_{LR0} - u_{LR}) \sin \gamma_b \mp \frac{S}{2}, \end{cases}$$

где  $S$  – ширина режущего зуба рейки на делительном диаметре эвольвентной винтовой поверхности,

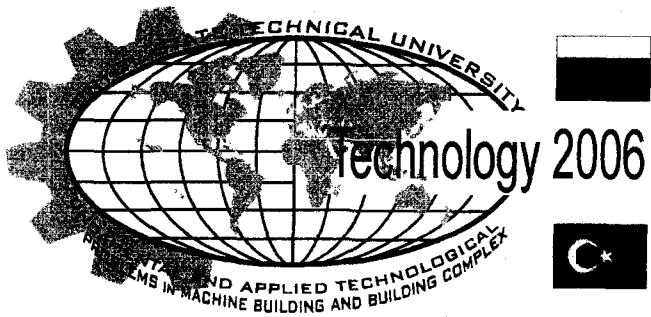
$p$  – винтовой параметр, определяющий перемещение на один радиан,

$$\vartheta = \arctg \frac{u \cos \gamma_b}{r_b},$$

$$\frac{r_f}{\cos \gamma_b} \leq u \leq \frac{r_a}{\cos \gamma_b}.$$

Эта эвольвентная производящая поверхность является основой для проектирования винтовой поверхности технологического червяка и расчета профиля резца и шлифовального круга, а также параметров их установки.

Сборные червячные фрезы описанной конструкции производятся ООО «Принт» (г. Тула) и внедрены в производство зубчатых колес ОАО «Тулаевский моторный завод», ОАО «Тулаточмаш» и других предприятий.

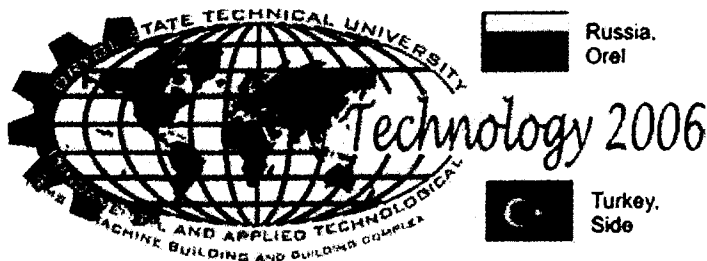


Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# **ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**



УДК 621.921

## СООСНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ШЛИФОВАНИЕ

Д.Р.Блурцян, к.т.н., доцент

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, Муром, тел/факс (49234) 60645, e-mail: davidraffi@mail.ru

## COAXIAL INTERNAL GRINDING

D.R.Blourtsian, PhD, Ass. Prof.

Murom Institute (Branch) of Vladimir State University  
Murom, tel/fax (49234) 60645, e-mail: davidraffi@mail.ru

*Coaxial internal grinding process (by the modular tool with separated and flexible in a radial direction cutting segments) was investigated.*

Новая схема внутреннего шлифования (рис.1), характеризующаяся соосным расположением абразивного инструмента и заготовки, а также отсутствием жесткой механической связи радиально-подвижных абразивных сегментов с металлическим корпусом круга, приводит к тому, что силы прижатия сегментов передаются непосредственно на обрабатываемую заготовку, а следовательно, на шпиндельный узел бабки изделия. В результате шпиндельный узел бабки изделия подвергается внешнему динамическому воздействию, от которого зависит характер движения оси шпинделя и, в конечном итоге, геометрия обрабатываемой поверхности заготовки.

Располагая данными, характеризующими упругие и диссипативные свойства шпиндельного узла бабки изделия, зная геометрические размеры инструмента и заготовки, осевой, экваториальный моменты инерции, а также внешнюю нагрузку, действующую на систему, можно вычислить малые упругие перемещения шпиндельного узла станка, как в его опорных плоскостях, так и в точке резания.



Для получения необходимой точности и шероховатости потребовалось в два раза меньше времени, чем при традиционной обработке.

Предлагаемый способ повышает производительность и качество обработки, упрощает и удешевляет конструкцию инструмента, расширяет технологические возможности и позволяет обрабатывать боковые поверхности не круглых сложнопрофильных отверстий, обеспечивает изменения направления следа обрабатываемого зерна абразива по отношению к следам предыдущей обработки и наложения осциллирующих движений без использования дополнительного вибропривода.

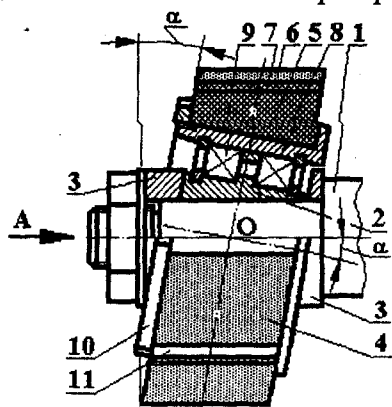


Рис. 1. Устройство, реализующее предлагаемый способ, общий вид с частичным продольным разрезом

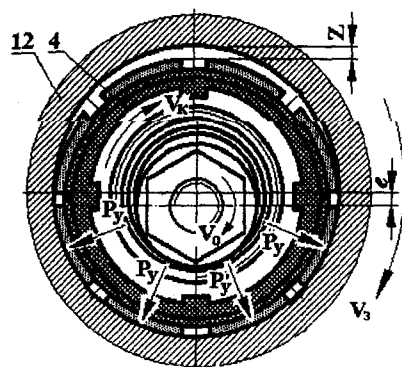


Рис. 2. Схема черновой обработки цилиндрического отверстия, ось инструмента эксцентрично смещена относительно оси заготовки

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. СССР 622647, МКИ В 24В 5/02. Устройство для полирования поверхностей. Б. М. Никифоров и Р. П. Чаузов. Заявка № 2150282/25-08, заявл. 01.07.75, опуб. 05.09.78. Бюл. № 33.
2. Патент РФ № 2 202 461, МКИ 7 В 24 В 29/00, 45/00. Устройство для полирования поверхностей. Степанов Ю. С., Афанасьев Б. И., Бородин В.В., Фомин Д.С. Заявка 2001123492/02, заявл. 21. 08. 2001, опубл. 20.04.2003г. Бюл. № 11.
3. Ермаков Ю. М., Степанов Ю. С. Современные тенденции развития абразивной обработки. (Машинстр. Пр-во. Сер. Технология и оборуд. обработки металлов резанием: Обзор. Информ./ВНИИТЭМР. Вып. 3) М., 1991. С. 24-26.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. С. 443.
5. Патент РФ № 2 266 804, МКИ<sup>7</sup> В 24 В 1/00, 20/00, 45/00, В 24 D 13/02. Способ осциллирующего шлифохонингования отверстий. Степанов Ю.С., Афанасьев Б.И., Фомин Д.С. и др. Заявка 2004111575/02, заявл. 15.04.2004, опубл. 27. 12. 2005 г. Бюл. № 36.

шлифовального круга передаёт сегментам лишь вращение и обратно – поступательное движение и разгружен от каких – либо перерезывающих сил, поскольку внешняя нагрузка, действующая в предложенной схеме шлифования, распределена между инструментом и заготовкой таким образом, что возмущения в виде перерезывающих сил уравниваются друг друга, при этом нагрузка на абразивные сегменты значительно уменьшается.

Таким образом, в результате устранения возмущений в виде значительных центробежных сил, обусловленных дисбалансами и высокой частотой вращения шпинделя шлифовального круга, полной ликвидации ударного характера работы абразивных сегментов, имеющего место в традиционных схемах прерывистого шлифования, а также максимального конструктивного уравнивания перерезывающей внешней нагрузки, создана схема шлифования с множественным непрерывным контактом сегментов с заготовкой, свободная от каких-либо значительных по величине динамических нагрузок.

$\alpha$  и пересекаются в центре симметрии  $O$ , косые шайбы 3, у которых торцы выполнены под углом  $\alpha$  друг к другу, а также алмазно-абразивный круг 4.

Круг 4 состоит из ступицы 5, выполненной из упругого пористого материала, например, поролона, резиновой губки и т.п., и наружного периферийного алмазно-абразивного прерывистого режущего слоя, в качестве которого использована алмазно-абразивная шкурка 6, закрепленная на тканевой пористой оболочке 7.

Круг 4 установлен под углом  $\alpha$  к плоскости, перпендикулярной оси вращения, на цилиндрической соосной втулке 8, которая установлена на подшипниках 9 на упомянутой косо́й втулке 2, и закреплен гайкой 10.

Наружный диаметр  $D_k$  круга 4 взят больше диаметра  $d$  обрабатываемого отверстия с целью создания сил упругости и обеспечения радиальной подачи при введении круга в обрабатываемое отверстие, при этом введение круга 4 в отверстие заготовки осуществляется с помощью разъемного конического кольца.

Периферийная поверхность круга 4 выполнена в виде тканевой пористой оболочки 7, которая расположена и наклеена на упругой пористой основе ступицы 5. В качестве алмазно-абразивного режущего слоя использована алмазно-абразивная шкурка 6, закрепленная на оболочке 7 в виде отдельных лепестков с образованием прерывистого режущего слоя, т.е. на периферийной режущей поверхности круга имеются впадины 11, не заполненные абразивом и позволяющие свободно уменьшаться в диаметре кругу при вводе его в обрабатываемое отверстие, а также свободному выходу СОТС на поверхность круга из предварительно пропитанной ступицы.

Алмазная шкурка отличается большой стойкостью, одним комплектом оболочки с алмазными лепестками, установленной на круге диаметром 50 мм и высотой 30 мм, можно обработать 30...50 тыс. отверстий [4].

Устройство, реализующее предлагаемый способ, работает в двух режимах: - в режиме черновой алмазно-абразивной обработки благодаря эксцентричному смещению оси оправки относительно оси обрабатываемой заготовки при принудительном вращении заготовки;

- в режиме чистовой алмазно-абразивной обработки при совпадении осей заготовки и круга.

Так как круг 4 контактирует всем периферийным алмазно-абразивным режущим слоем с обрабатываемой поверхностью отверстия и жестко не связан с оправкой, а свободно вращается на ней, то в режиме чистовой обработки при совпадении осей устройства и заготовки частота вращения круга  $V_k$  равна частоте вращения заготовки  $V_z$ .

При этом частота вращения оправки  $V_o$  определяет частоту вибраций, а именно количество продольных колебательных движений  $S_A$  режущего слоя наклонного круга с амплитудой  $A_k$ . Величина амплитуды зависит от угла наклона круга и его наружного диаметра. Величину амплитуды можно регулировать изменением угла наклона круга.

пример, вибрационное шлифование и полирование, круглое шлифование со скрешивающимися осями инструмента и заготовки, высокоскоростное шлифование, шлифование осциллирующим инструментом и др.

Вибрационное шлифование традиционно обеспечивается при помощи соответствующего привода шпинделя с инструментом или заготовки, что требует специального или модернизированного оборудования.

Кроме того, при вибрационном шлифовании, зачастую, наблюдается самовозбуждение колебаний (в тангенциальном и нормальном направлениях), что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности и снижению стойкости инструмента.

Решающим фактором, определяющим целесообразность использования метода вибрационного шлифования, является возможность подавления автоколебаний [3, 4].

Интенсивную обработку и благоприятные условия снижения теплонапряженности в последнее время получают за счет конструктивных решений при установке дискового инструмента под углом к оси его вращения.

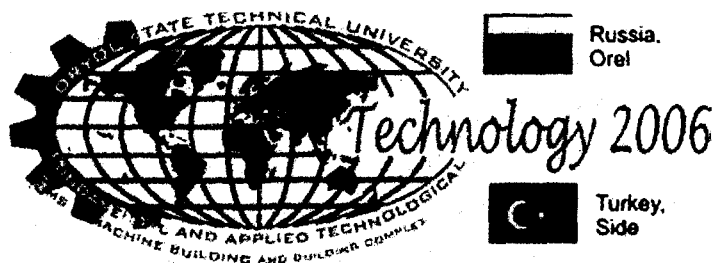
Зона резания и, следовательно, тепловое поле, при такой установке дискового инструмента смещается по обрабатываемой поверхности не только в радиальном, но и осевом направлениях со скоростью, соизмеримой со скоростью резания. Эффект применения стандартного дискового инструмента при его установке на шпиндель станка под углом резко снижает вероятность появления микротрещин и прижогов благодаря осцилляции контакта инструмента и заготовки, который также называют «бегущим контактом».

Предлагаемый способ предназначен для алмазно-абразивного осциллирующего полирования и шлифохонингования любых (круглых и не круглых) внутренних поверхностей [5].

Известные способы и устройства для полирования поверхностей [1, 2] имеют существенные недостатки: низкая производительность и качество из-за недостаточной скорости круга, узкие технологические возможности, а именно для обработки вращающихся деталей, и невозможность изменить направление следа обрабатываемого зерна абразива по отношению к следу предыдущей обработки, а также сложность конструкции, что удорожает процесс полирования. При этом для наложения вибраций на процесс полирования с целью повышения производительности и качества обработки необходимо применить дополнительный дорогостоящий вибропривод (например, магнотриксционный и т.п.), что усложняет и удорожает конструкцию.

Задачей предлагаемого способа является повышение производительности и качества обработки, расширение технологических возможностей, позволяющих обрабатывать боковые поверхности не круглых сложнопрофильных отверстий, обеспечение изменения направления следа обрабатываемого зерна абразива по отношению к следам предыдущей обработки и наложения осциллирующих движений без использования дополнительного вибропривода, а также упрощение и удешевление конструкции инструмента.

Устройство, реализующее способ, содержит оправку 1, косую втулку 2, у которой оси наружной и внутренней поверхностей выполнены под углом



УДК 621.923

## СПОСОБ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО ШЛИФОХОНИНГОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ

Ю.С. Степанов, д. т. н., проф., Б.И. Афанасьев, доц., Фомин Д.С.  
Орловский государственный технический университет,  
Орел тел. (4862)555524

## AN OSCILLATING GRIND-HONING METHOD OF HOLES

Yu.S. Stepanov, Ph.D, Prof., B.I. Afanasyev, Assist. Prof., D.S. Fomin,  
Oryol State Technical University, Technological Institute,  
Oryol tel. +7(4862) 555524

*The method is carried out by means of a wheel fixed at an angle to its rotation axis the center boss of which is produced of resilient porous material and a circumference – of diamond-abrasive emery-paper and at the same time an outer wheel diameter is larger of the hole diameter to be worked, at that the wheel works in two operating modes: in the operating mode of rough machining with an off-center displacement of its axis relatively an axis of a billet and in the operating mode of finishing at the coincidence of axes. The method allows machining non-circular profile composite holes.*

Повышение качества продукции в машиностроении и других отраслях предусматривает постоянное совершенствование процессов чистовых, упорочно-чистовых и отделочных, а именно шлифовальных, хонинговальных, суперфинишных, полировальных, накатных и других операций [3].

Эффективность операций, оцениваемая производительностью и себестоимостью выполнения, во многом определяется технологическими возможностями схемы обработки, характеризуемой геометрией и кинематикой взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки [3]. Существует ряд направлений повышения производительности, точности обработки за счет направленного изменения условий воздействия элементов технологической системы: станок – приспособление – инструмент - заготовка. Это, на-

В режиме чистовой обработки нет вращательного движения круга относительно заготовки, поэтому алмазно-абразивные зерна круга оставляют на обработанной поверхности риски в продольном направлении, как при хонинговании и шлифхонинговании [3].

При смещении оси устройства относительно оси обрабатываемого отверстия на величину "e" в одну сторону (например, вниз, см. рисунки 2) с противоположной стороны (вверху) появляется зазор Z. Эксцентричное смещение оси устройства позволяет интенсифицировать процесс обработки, т.к. увеличиваются силы упругости со стороны контакта круга с заготовкой, а благодаря зазору Z появляется возможность проскальзывания, т.е., вращения круга относительно заготовки. При этом угловая скорость круга  $\omega_k$ , будет пропорциональна эксцентриситету "e" смещения и определяется по формуле:

$$\omega_k \approx \omega_z \left[ \frac{d}{d - e} \right],$$

где  $\omega_k$  - угловая скорость круга;

$\omega_z$  - угловая скорость заготовки;

d - внутренний диаметр обрабатываемого отверстия заготовки;

e - эксцентриситет смещения оси устройства относительно оси обрабатываемого отверстия.

Таким образом, черновая алмазно-абразивная обработка производится при эксцентричном смещении оси устройства относительно оси обрабатываемого отверстия и позволяет изменить направление рисок, оставляемых алмазно-абразивными зёрнами на шлифуемой поверхности, улучшить шероховатость и увеличить производительность процесса.

Обрабатывалось сквозное отверстие фланца диаметром 50 Н7<sup>+0,025</sup> мм и длиной 40 мм на внутришлифовальном станке мод. ЗК228В. Материал заготовки - сталь 45, закаленная, твердость HRC 45. Способ крепления заготовки - в патроне. Технологическая система станок - приспособление - инструмент - заготовка достаточно жесткая. Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra 0,32 мкм. Круг изготовлен диаметром 60 мм высотой 30 мм на поролоновой основе, лепестки из шкурки зернистостью 14А4. Припуск - 0,1 мм, частота вращения заготовки - 600 мин<sup>-1</sup> ( $v_z=94,2$  м/с), частота вращения оправки - 4500 мин<sup>-1</sup>, продольная подача - 0,05 м/с. Охлаждающая жидкость - 5% водный раствор эмульсола. Лепестки шкурки размером 30x21 мм пропитывались составом, содержащим 40% парафина, 55% пластической смазки ПВК и 5% графита, и приклеивались к тканевой оболочке с образованием впадин в 5 мм с целью снижения температуры. В режиме чернового шлифхонингования эксцентриситет смещения оси устройства относительно оси обрабатываемого отверстия принимался 7 мм, зазор 2 мм. При этом угловая скорость круга была больше скорости заготовки в  $[50/(50-7)]=1,163$  раза.

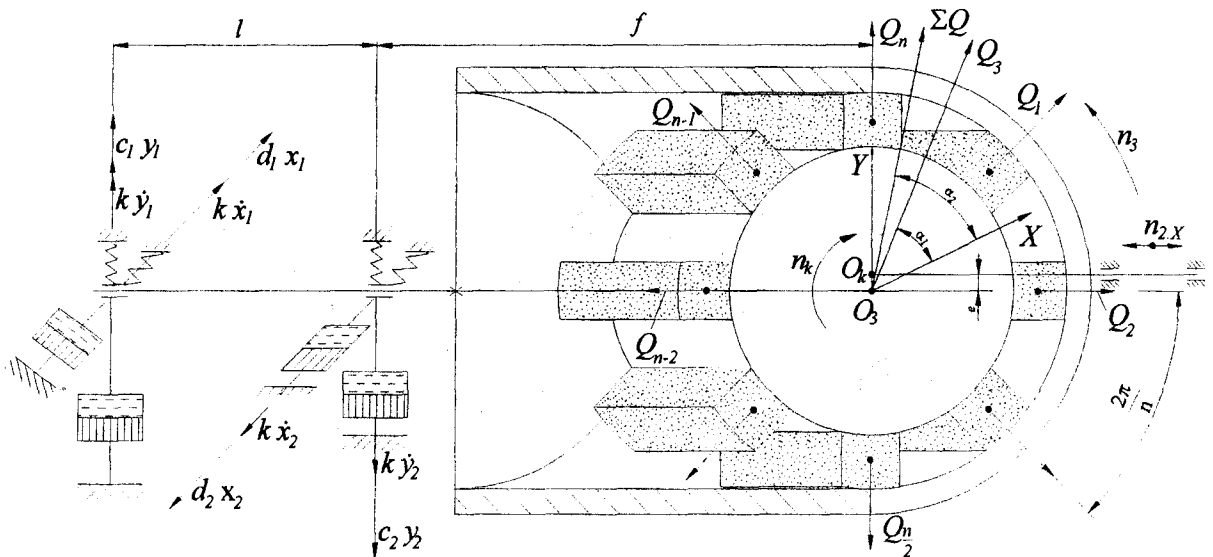


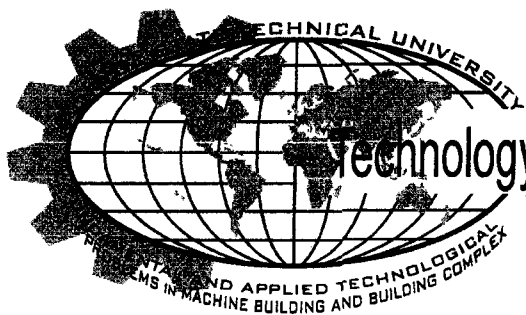
Рис.1. Схема соосного внутреннего шлифования

Шпиндель внутришлифовального станка, на котором жёстко закреплён корпус круга, имеет тот или иной вид неуравновешенности, ту или иную величину дисбаланса, что обусловлено действием ряда объективных причин и невозможностью проведения абсолютно точной балансировки. По этой причине корпус круга подвергается действию неуравновешенной центробежной силы. Однако из-за разорванной механической связи сегментов с корпусом, вибрация от шпинделя станка (вибрация корпуса круга) не передается абразивным сегментам.

Проведенные расчёты показали, что виброперемещения абразивного сегмента в предложенной схеме шлифования в 3–5 раз меньше перемещений аналогичного по параметрам сборного шлифовального круга, работающего по традиционной схеме прерывистого шлифования. Этот факт объясняется тем, что в традиционных схемах круглого внутреннего шлифования основные возмущения в зоне резания проистекают от шпинделя неуравновешенного шлифовального круга, так как он является наиболее скоростным и наиболее податливым элементом технологической системы. В предложенной схеме происходит отсечение данных возмущений от абразивных сегментов и заготовки, что приводит к успокоению процесса шлифования в целом.

Сравнительно высокий уровень вибрации быстровращающегося шпинделя шлифовального круга не может оказать большого влияния на процесс шлифования по новой схеме в связи с диссипацией колебаний шпиндельного узла в области контакта обоймы сегмента с металлическим корпусом шлифовального круга, жёстко закреплённым на шпинделе.

Переход от традиционной к предложенной схеме шлифования сопровождается переносом внешней нагрузки со сравнительно нежёсткого шпиндельного узла шлифовального круга на менее скоростной и более жёсткий шпиндельный узел бабки изделия, что также позволяет повысить геометрическую точность обработанных деталей. При новой схеме шпиндельный узел



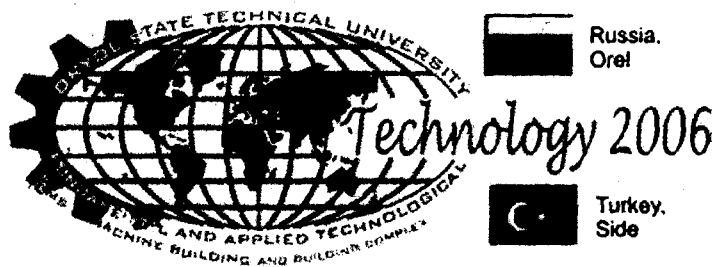
Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ





УДК 669.046-194:621.785.52

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ СТИМУЛ К ОКИСЛЕНИЮ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЖЕЛЕЗА В ХРОМИСТЫХ СТАЛЯХ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ И НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ

О.В.Иванова, к.т.н.

Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862)541503

Н.Е.Занин, аспирант, П.В.Аносов, аспирант  
Курский государственный технический университет  
Курск, тел. (4712)519903

## THERMODYNAMIC STIMULUS TO REDOX OF IRON IN CHROM STEELS IN THE TIME OF CARBURIZATION AND NITROCARBURIZATION

O.V.Ivanova,

Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862)541503

N.E.Zanin, post-graduated student, P.V.Anosov, post-graduated student  
Kursk State Technical University  
Kursk, tel. (4712)519903

*Redox of iron on the surface of chrome steels in the time they carburization and nitrocarburization in medium of CO-CO<sub>2</sub> is analyzed on the basis of thermodynamic calculations. Redox of iron is the catalyzer of they carburization and nitrocarburization of chrome steels.*

Известно [1,2], что окисление легированных сталей, предварительное или сопутствующее, неоднозначно влияет на цементацию: в одних случаях препятствует науглероживанию, в других - способствует ему. Отмечается [2] подобное влияние окисления и на нитроцементацию.

Наиболее распространенным легирующим элементом в машиностроительных и инструментальных сталях является хром. Широко применяются и другие легирующие элементы (Ti, V, Si, Mn, Mo, W).

Окисления углеродистой стали при цементации и нитроцементации не происходит лишь потому, что парциальное давление кислорода ( $P_{O_2}$ ) в средах, содержащих CO-CO<sub>2</sub>, выражаемое, согласно [3], уравнением:

$$- \lg P_{O_2} = \frac{12580}{T} + 8,67, \quad (1)$$

оказалось, как видно из результатов расчетов по этому уравнению, ниже упругости диссоциации окислов железа, что следует из таблицы.

Упругость диссоциации ( $P_{O_2}$ ) окислов некоторых легирующих элементов в стали при 927°C

Окисел	$P_{O_2}$ , атм	Окисел	$P_{O_2}$ , атм
TiO	$5,02 \cdot 10^{-36}$	FeO	$6,31 \cdot 10^{-17}$
SiO <sub>2</sub>	$1,26 \cdot 10^{-29}$	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$7,95 \cdot 10^{-17}$
MnO	$1,59 \cdot 10^{-26}$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$1,26 \cdot 10^{-15}$
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$1,0 \cdot 10^{-21}$	MoO <sub>2</sub>	$3,98 \cdot 10^{-17}$
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$1,59 \cdot 10^{-19}$	MoO <sub>3</sub>	$5,02 \cdot 10^{-14}$
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$1,59 \cdot 10^{-24}$	WO <sub>2</sub>	$1,0 \cdot 10^{-16}$
CO-CO <sub>2</sub>	$8,08 \cdot 10^{-20}$	WO <sub>3</sub>	$1,59 \cdot 10^{-16}$

Практика цементации и нитроцементации легированных сталей и многочисленные литературные источники показывают, что в атмосферах, содержащих CO-CO<sub>2</sub>, происходит окисление хрома, марганца кремния и титана. При цементации легированных сталей, наряду с указанными легирующими элементами окисляется и железо.

Исследования [4] методом ядерного гамма-резонанса и рентгеноструктурные анализы показали, что после цементации и нитроцементации в средах, содержащих CO-CO<sub>2</sub>, всегда наблюдаются на легированных сталях, в частности 25ХГТ, 25ХГНМТ и др., пленки сложных окислов со структурой шпинелей. Включения шпинелей имеются также в зоне внутреннего окисления.

Образование шпинелей в хромистых сталях при цементации имеет сложный механизм. В работе [5] сообщается, что в первые минуты окисления на поверхности сплава Fe-Cr образуются фазы Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO. Оба окисла немедленно взаимодействуют, образуя гранулы FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Диффузия железа из сплава через слой FeO к поверхности протекает быстро, в то время как хром, согласно работе [5], оказывается прочно связанным с кислородом и не может извлекаться из окисла. Поступление хрома из основы сплава Fe-Cr в шпинельную фазу постепенно уменьшается, его концентрация в шпинели падает, и внешняя часть гомогенного шпинельного слоя может состоять из чистого

магнетита  $Fe_3O_4$ . Последний в равновесной среде  $CO-CO_2$  восстанавливается до железа, что подтверждается экспериментально.

Имеется большое количество исследований восстановления металлов из их окислов углеродом и окисью углерода в металлургических процессах. Литературные данные свидетельствуют о том, что универсального механизма углетермического восстановления металлов не существует и действует одновременно несколько механизмов, причем доля каждого механизма в зависимости от металла, а также от условий и степени его восстановления, меняется [6].

Наиболее обоснованное суждение о роли конкретного механизма восстановления металла из его окисла может дать термодинамический анализ.

Можно считать, что восстановление металла термической диссоциацией его окисла реализуется лишь в том случае, если равновесное парциальное давление кислорода над поверхностью окисла металла больше равновесного парциального давления кислорода над поверхностью углерода (углетермическое восстановление), т.е. если  $P_O^{Me_xO_y} > P_O^C$ ;  $P_{O_2}^{Me_xO_y} > P_{O_2}^C$ .

Аналогично оценивается реакция восстановления металла не углеродом, а его окисью (при этом роль углерода сводится к непрерывной регенерации  $CO$ ). Она возможна при условии  $P_{CO_2}^{Me_xO_y} > P_{CO_2}^C$ .

Интенсивность  $I$  потока газового компонента ( $O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) от поверхности  $Me_xO_y$  к поверхности углерода может быть оценена по уравнению [7]:

$$I_i = -L_i \text{grad} \mu_i = -L_i \left[ \frac{\mu_{O_i}^{Me_xO_y} - \mu_{O_i}^C}{d} + kT \frac{\ln(P_i^{Me_xO_y} / P_i^C)}{d} \right], \quad (2)$$

где  $L_i$  - величина феноменологического коэффициента, определяющего скорость выравнивания химического потенциала  $i$ -го компонента  $\mu_i$  в системе;

$P_i^{Me_xO_y}$  и  $P_i^C$  - соответственно парциальные давления  $i$ -го компонента над окислом и углеродом;

$d$  - эффективное расстояние между поверхностями  $Me_xO_y$  и  $C$ ;

$\mu_{O_i}^{Me_xO_y}$  и  $\mu_{O_i}^C$  - химический потенциал  $i$ -го компонента над поверхностью

$Me_xO_y$  и  $C$  при  $P_i^{Me_xO_y} = P_i^C = 1,0325$  бар [7];

$k$  - постоянная Больцмана.

В работе [7] показано, что при  $P_{CO}=1$  перенос атомов кислорода от поверхности  $Me_xO_y$  к поверхности  $C$  (или неравенство  $P_O^{Me_xO_y} > P_O^C$ ) термодинамически становится возможным для  $FeO$  при  $500^\circ C$ , а неравенство  $P_{CO_2}^{Me_xO_y} > P_{CO_2}^C$  возможно лишь при  $t > 800^\circ C$ . С ростом температуры отношение  $P_O^{Me_xO_y} / P_O^C$  резко возрастает, причем при всех температурах имеет место неравенство  $P_O^{Me_xO_y} / P_O^C \gg P_{CO_2}^{Me_xO_y} / P_{CO_2}^C$ .

Для окисла  $Cr_2O_3$  по тем же данным [7] неравенство  $P_O^{Me_xO_y} > P_O^C$  достигается при температуре порядка  $800^\circ C$ , а неравенство  $P_{CO_2}^{Me_xO_y} > P_{CO_2}^C$  лишь при

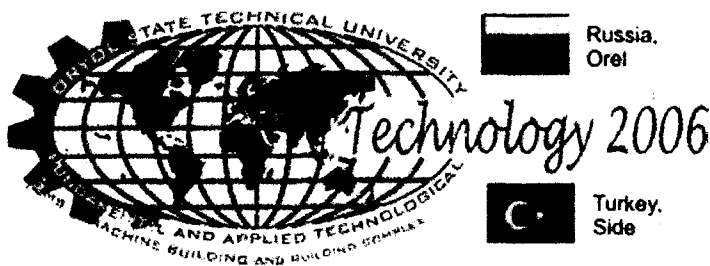
1300°C. Как уже отмечалось, окисление стали неоднозначно влияет на цементацию: в одних случаях препятствует науглероживанию, в других - способствует ему. Ускорение цементации хромистых сталей в результате их предварительного и сопутствующего окисления происходит, по-видимому, в тех случаях, когда образуется шпинельный слой  $(Fe, Cr)_3O_4$  с наружной пленкой шпинели  $Fe_3O_4$ , которая быстро восстанавливается до железа, играющего роль катализатора.

Итак, термодинамический анализ реакций окисления смешанных карбидов железа и хрома атмосферами  $CO$ ,  $CO_2$  показал, что в среде  $CO$  может окисляться не только хром, но и легированное хромом железо с образованием шпинели  $FeO \cdot Cr_2O_3$ . Анализ механизма восстановления железа и хрома из окислов, образовавшихся на поверхности и в подповерхностной зоне при цементации хромистых сталей позволяет заключить, что ведущей реакцией восстановления хрома является термическая диссоциация шпинелей. Восстановление железа при этом осуществляется не только термической диссоциацией шпинелей, но и окисью углерода. Последняя реакция в механизме восстановления железа при температуре цементации и нитроцементации является ведущей.

Окисление и восстановление железа в хромистых сталях, сопровождающиеся науглероживанием, приводят к ускорению цементации и нитроцементации, что объясняется каталитическим действием свежевосстановленной железной пленки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девочкин О.В., Воронцов Е.С., Филионов Б.Н. Влияние предварительного окисления на процесс цементации стали // Известия вузов. Черная металлургия. 1975. №10. С.18-21.
2. Переверзев В.М. Диффузионная карбидизация стали. Воронеж: Издательство Воронежского университета. 1977. 92 с.
3. Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварцман Л.А. Термодинамика железоуглеродистых сплавов. М.: Металлургия. 1972. 328 с.
4. Шубин Р.П., Гринберг М.Л. Нитроцементация деталей машин. М.: Машиностроение. 1975. 208 с.
5. Кубашевский О., Голкинс Б. Окисление металлов и сплавов. М.: Металлургия. 1965. 428 с.
6. Механизм углетермического восстановления окислов металлов / Ростовцев С.Т., Симонов В.К., Ашин А.К., Костелов О.Л. // Механизм и кинетика восстановления металлов (АН СССР, Днепропетровский металлургический институт. Материалы симпозиума). М.: Наука. 1970. С.24-32.
7. Хрущев М.С. О механизме взаимодействия окислов металлов с углеродом // Известия вузов. Черная металлургия. 1977. №2. С.13-17.



УДК 669.15'74-194:621.785.52

**ТЕРМОДИНАМИКА, МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ  
ЦЕМЕНТИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ  
МАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ В  
ВЫСОКОАКТИВНОМ КАРБЮРИЗАТОРЕ**

В.М.Переверзев, д.т.н., проф.

Курский государственный технический университет

Курск, тел. (4712)519903

О.В.Иванова, к.т.н.

Орловский государственный технический университет

Орел, тел. (4862)541503

**THERMODYNAMICS, MECHANISM AND KINETICS OF CEMENTITE  
COATING FORMATION ON THE SURFACE OF MANGANESE STEEL  
IN THE TIME OF CARBURIZATION IN THE HIGH ACTIVITY  
CARBONIZING MEDIUM**

V.M.Pereverzev, Prof., Dr.

Kursk State Technical University

Kursk, tel. (4712)519903

O.V.Ivanova,

Oryol State Technical University

Oryol, tel. (4862)541503

*The system of substance transfer equations in the reaction product layers considering the carbon diffusion from carbonizing medium into the metal and reverse stream of Fe ions from the zone of MnO-FeO oxides solid solution into the zone of carbon reaction is analyzed. This system of equations is solved. The carbide layer width internal and external layer limits movement in the conditions of carburization are calculated.*

Из практики химико-термической обработки известно, что содержание углерода в поверхностном слое после обычной цементации марганцевистой

стали не отличается от содержания его в цементованном слое нелегированной стали.

Однако, экспериментально установлено, что если цементацию проводить в высокоактивном карбюризаторе, можно получить на поверхности марганцовистой стали, в отличие от нелегированной, карбидное покрытие. Оно представляет собой цементит, легированный марганцем, и при оптимальной толщине может обеспечить самозатачивание режущих органов изделий в работе.

Ниже приводится анализ термодинамики, механизма и кинетики карбидообразования в процессе цементации марганцовистой стали.

Марганец, независимо от содержания его в стали, полностью растворяется в цементите и аустенитной матрице, причем, согласно [1], распределяется между ними в соотношении 4:1.

Термодинамические расчеты, выполненные по методике [2], показали, что марганец стабилизирует в одинаковой степени и цементит и аустенит. Поэтому отсутствует и термодинамический стимул к образованию карбидной фазы в диффузионном слое при цементации марганцовистой стали, т.е. по термодинамическим характеристикам последняя мало отличается от простой углеродистой (нелегированной) стали. Способствует же марганец карбидообразованию при цементации по другой причине.

Согласно [3], в процессе выделения цементита из аустенита первоначально образуется промежуточная гексагональная фаза (метастабильный карбид, карбидное состояние)  $\alpha\text{-Fe}_{2,3}\text{C}$ , которая имеет явно выраженное уширение линий на рентгенограммах, свидетельствующее о широкой области гомогенности. При этом обнаруживается тенденция к повышению первоначального содержания углерода (верхнего предела гомогенности) до состава  $\text{Fe}_2\text{C}$ . В этой же работе [3] отмечается, что карбид  $\varepsilon\text{-Fe}_{2,3}\text{C}$  можно получить экспериментально как в тонких металлических пленках, так и в массивных образцах науглероживанием в атмосфере окиси углерода. При этом сильное влияние оказывает присутствие (помимо углерода) следов кислорода и других элементов внедрения. На данный метастабильный карбид аналогично влияет и марганец.

В связи с тем, что марганец обладает склонностью к окислению при цементации стали, происходит его поверхностное и внутреннее (вблизи от поверхности) окисление. В присутствии марганца усиливается склонность к окислению и железа, поэтому образуется твердый раствор оксидов  $\text{MnO-FeO}$  [4]. В решетке вюститы ( $\text{FeO}$ ), как известно, имеется высокая концентрация вакансий двухвалентных ионов железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Последние легко диффундируют из оксидов к поверхности, где в реакции с углеродом образуют карбидную пленку. В литературе [5,6] движение вещества, обусловленное химической реакцией или фазовым превращением на поверхности раздела фаз, называют стефановским потоком. Можно заключить, что карбидная пленка образуется за счет стефановского потока, а именно – потока углерода из науглероживающей среды в металл и обратного потока ионов железа из твердого раствора оксидов  $\text{MnO-FeO}$  в зону реакции с углеродом.

Система уравнений переноса вещества в слое продукта реакции с учетом стефановского потока состоит из уравнений непрерывности массы и диффузии [6].

$$-\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho v); \quad (1)$$

$$-\frac{\partial \rho a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(j), \quad (2)$$

где  $j$  – полный поток вещества:

$$j = D\rho \frac{\partial a}{\partial x} + \rho v a. \quad (3)$$

В уравнении (3) первый член характеризует перенос вещества диффузией, второй – перенос массовым потоком. В уравнениях (1)-(3) приняты следующие обозначения:  $v$  – линейная скорость перемещения массы в слое продукта реакции;  $\rho = \rho_1 + \rho_2$ , где  $\rho_1$  – плотность металла (аустенита),  $\rho_2$  – плотность продукта реакции (карбида);  $a$  – относительная (средняя) весовая концентрация углерода в слое карбида;  $D$  – коэффициент диффузии углерода.

Начальное условие ( $t=0$ ):  $x_2(0)=x_1(0)=x_0$ , где  $x_0$  – начальное положение поверхности раздела;  $x_1$  – внутренняя граница слоя продукта реакции (карбидной пленки),  $x_2$  – наружная граница этого слоя.

Граничные условия ( $t>0$ ): на внутренней границе  $a=a_1$ , на наружной границе  $a=a_2$ ,  $a_2 > a_1$ .

Решение системы уравнений (1)-(2), которое можно использовать для расчета  $x_1$ ,  $x_2$  и толщины карбидной пленки  $\delta$ , следующее [6]:

$$x_1 = 2b_1 \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_1}}{\rho_1^2}} \sqrt{t}; \quad (4)$$

$$x_2 = 2 \left[ (b - b_1) \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_2}}{\rho_2^2}} + b_1 \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_1}}{\rho_2^2}} - b_1 \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_1}}{\rho_1^2}} \right] \sqrt{t}; \quad (5)$$

$$\delta = x_1 + x_2 = 2 \left[ (b - b_1) \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_2}}{\rho_2^2}} + b_1 \sqrt{\frac{(D\rho_2^2)_{a=a_1}}{\rho_2^2}} \right] \sqrt{t}, \quad (6)$$

где  $b$  и  $b_1$  – константы параболического закона роста слоя продукта реакции, они подлежат расчету в каждом конкретном случае. Для нахождения констант  $b$  и  $b_1$  необходимо знать зависимость  $D\rho_2^2$  от  $a$ .

Если учесть, что относительная весовая концентрация ( $a$ ) углерода в карбидной пленке изменяется незначительно (углерод – легкий элемент, железо – тяжелый), то в первом приближении можно принять, что  $D(a)=\text{const}$ ,  $\rho_2(a)=\text{const}$  и величина  $D\rho_2^2$  постоянная. В этом случае можно использовать для расчета  $b$  и  $b_1$  уравнения [6]:

$$\frac{b - b_1}{b_1} e^{b(b-2b_1)} = \frac{a_1}{1 - a_2}, \quad (7)$$

$$\sqrt{\pi}(b - b_1) [\operatorname{erf}(b - b_1) + \operatorname{erf}(b_1)] e^{(b-b_1)^2} = \frac{a_2 - a_1}{1 - a_2} \quad (8)$$

Ориентировочные пределы изменения относительной весовой концентрации углерода в карбидной пленке для расчета  $b$  и  $b_1$  приняты равными:  $a_1=0,067$  (соответствует  $\text{Fe}_3\text{C}$ );  $a_2=0,097+0,067$  (соответствует карбиду  $\epsilon\text{-Fe}_{2,3}\text{C}$ ). Результаты расчетов констант  $b$  и  $b_1$  по уравнениям (7) и (8), выполненных на ЭВМ, приведены в таблице, из которой видно, что с уменьшением разности  $a_2 - a_1$  весьма заметно уменьшаются как  $b$ , так и  $b_1$ .

Поскольку в первом приближении было принято, что  $D(a)$  и  $\rho_2(a)$  постоянны, значение  $D_{\text{эф}}$  вычислено по уравнению (6) с использованием экспериментального значения  $\delta$  и рассчитанных значений  $b$  и  $b_1$ . Все остальные характеристики формирования и роста карбидной пленки ( $x_1$ ,  $x_2$  и  $\delta$ ) вычислены по уравнениям (4)-(6). Полученная зависимость указанных характеристик от  $\Delta a$  также приведена в таблице, из которой видно, что использование уравнений (4)-(8) позволяет учитывать роль стефановского потока в образовании и росте карбидной пленки на стали при цементации. Расчет позволил ориентировочно оценить перемещение как внутренней, так и внешней границы покрытия.

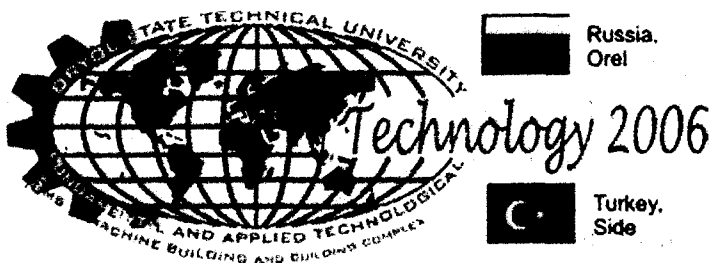
Таблица. Зависимость констант  $b$  и  $b_1$  в уравнениях (7), (8) и толщины карбидной пленки  $\delta$  от  $\Delta a = a_2 - a_1$  ( $a_1 = 0,067$ ,  $D = 8,6 \cdot 10^{-12}$  см<sup>2</sup>/с)

$a_2$	$\Delta a$	$b$	$b_1$	$x_1$ , мкм	$x_2$ , мкм	$\delta$ , мкм
0,097	0,030	0,464	0,426	3,2	0,8	4,0
0,090	0,023	0,407	0,375	2,8	0,7	3,5
0,082	0,015	0,337	0,311	2,3	0,6	2,9
0,075	0,008	0,241	0,224	1,6	0,5	2,1

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудремон Э. Специальные стали. Т.1. М.: Металлургия, 1966. 736 с.
2. Переверзев В.М., Колмыков В.И., Росляков И.Н. Термодинамика гомогенного зарождения цементита в аустените в процессе цементации стали // Известия АН СССР. Металлы 1981. №6. С.61-64.
3. Гольдшмидт Х.Дж. Сплавы внедрения. М.: Мир, 1971. Т.1. 424 с.
4. О термодинамике процессов окисления металлов / Г.И.Чуфаров, М.Г.Журавлева, В.Н.Богословский, А.Н.Мень // Механизм взаимодействия металлов с газами. М.: Наука, 1964. С.7-23.
5. Блощенко В.Н., Хайкин Б.И. О стефановском потоке при гетерогенных химических реакциях. - Ж. физ. химии, 1967. Т.XLI. №12. С.3011.
6. Арутюнян А.Б., Мержанов А.Г., Хайкин Б.И. Роль стефановского потока и изменения объема конденсированной фазы в процессах реакционной диффузии // Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1975. С.210-216.





УДК 621.785.53:669.15

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АЗОТИРОВАНИЯ

Л. Г. Петрова, д.т.н., проф., Ю.Г. Фомина, инж.  
Московский автомобильно-дорожный институт  
(государственный технический университет),  
Москва, тел. (495) 155 08 29, e-mail: petrova\_madi@mail.ru

## DESIGN OF EXPERIMENTS ON INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF NITRIDING

L.G. Petrova, Prof. Dr., Yu. G. Fomina, Eng.  
Moscow Automobile and Road Construction Institute  
(State Technical University),  
Moscow, phone (495) 155 08 29, e-mail: petrova\_madi@mail.ru

*The development of new technological processes of surface strengthening includes determination of optimal parameters of treatment for formation of given structure of a surface layer and its properties. The procedure of controlled characteristics of the layer receiving due to optimization of technological parameters can be described as an algorithm or an order of actions necessary for the achievement of the required result. This order of planned in advance steps is rather typical for different kinds of strengthening treatment. In this paper such algorithm is considered by the example of the development of controlled nitriding processes of steels and alloys.*

Разработка технологических процессов поверхностного упрочнения включает в себя определение оптимальных параметров обработки для получения заданной структуры поверхностного слоя и его свойств. Процедуру получения контролируемых характеристик слоя за счет нахождения оптимальных режимов технологического процесса можно описать в виде алго-

ритма или строгой последовательности действий, необходимых для достижения заданного результата. Такая последовательность заранее спланированных шагов экспериментальных исследований является типичной для любых процессов упрочняющей обработки. Рассмотрим подобный алгоритм эксперимента на примере разработки регулируемых процессов азотирования сталей и сплавов.

Азотирование является одним из эффективных и перспективных способов упрочняющей химико-термической обработки. Азотирование используется в различных отраслях машиностроения для повышения надежности и долговечности широкой номенклатуры деталей машин и инструмента. Преимуществами азотирования являются эффективность, простота технологического решения, возможность сочетания его с различными технологическими процессами, а также возможность проведения азотирования вместо термической обработки. Технологические варианты процессов азотирования обеспечивают широкий диапазон физико-механических характеристик материалов. В зависимости от особенностей строения азотированного слоя можно значительно повысить различные служебные характеристики: износостойкость, предел выносливости, коррозионную стойкость, жаропрочность сталей. Условия эксплуатации требуют создания регулируемых технологий азотирования с получением диффузионных слоев различного фазового состава и структуры, что определяет работоспособность изделий в режиме износа, коррозии, знакопеременных нагрузок, сопротивления ползучести при повышенных температурах.

Конкретные условия эксплуатации требуют создания регулируемых технологий азотирования с получением диффузионных слоев различного фазового состава и структуры, что определяет работоспособность изделий в режиме износа, коррозии, знакопеременных нагрузок, сопротивления ползучести при повышенных температурах. В этой связи большое значение приобретает создание различных вариантов технологии, которые позволяют получить заданную структуру и фазовый состав азотированного слоя, обеспечивающие оптимальные характеристики изделий.

Для разработки регулируемых процессов азотирования с оптимальными технологическими режимами относительно заданных характеристик слоя предлагается алгоритм экспериментальных исследований, который позволит получить наиболее полную информацию о строении азотированного слоя и его свойствах и их взаимосвязи с параметрами обработки (рис. 1):

### 1. Составление матрицы эксперимента:

Определение совокупности основных входных параметров эксперимента ( $\Omega$ ), подлежащих оптимизации. Для технологического процесса азотирования - это температура процесса ( $t$ ), его продолжительность ( $\tau$ ) и азотный потенциал насыщающей атмосферы ( $\pi_N$ ), т.е.  $\Omega = U(t, \tau, \pi_N)$

Определение совокупности основных выходных параметров процесса ( $\Psi$ ), подлежащих контролю, например, толщины азотированного слоя ( $y$ ), его фазового состава ( $\Phi$ ), особенностей строения ( $C$ ), а также механических свойств слоя. Чаще всего для первичного контроля механических свойств

азотированного слоя используется показатель микротвердости (Н) как базовый параметр упрочнения. Таким образом,  $\Psi = U(y, \Phi, C, H)$ .

Определение специфических выходных параметров процесса ( $\Psi'$ ) в зависимости от целей и задач разрабатываемой технологии. Например, износостойкость, коррозионная стойкость, усталостная прочность и т.д.

Определение диапазонов и шагов изменения основных входных параметров, необходимых для построения экспериментальных зависимостей. Диапазон изменения параметров определяется на основании анализа существующих установленных предыдущими исследованиями корреляционных зависимостей ( $\Psi, \Psi' = f(\Omega)$ ). Поэтому экспериментальным исследованиям предшествует тщательный анализ научных результатов, опубликованных в литературе, моделирование соответствующих процессов и научный прогноз возможных эффектов, наблюдающихся в выбранном диапазоне параметров.

В табл. 1 представлена простейшая матрица эксперимента по азотированию. Задано: диапазон изменения температур 520-570°C, шаг изменения температур 25°C, продолжительность процесса от 2 до 10 часов с шагом 4 часа, азотный потенциал смеси  $\pi_N = \text{const} = 1$ . Каждому эксперименту присваивается номер, например, эксперимент номер 5 проводится при температуре 545°C и продолжительности процесса 6 часов. В данном случае, мы имеем три серии экспериментов при различных температурах, включающих каждая по три эксперимента при разном времени процесса.

Таблица 1

Матрица эксперимента по азотированию

t, °C \ \tau, ч	520	545	570
2	№1	№4	№7
6	№2	№5	№8
10	№3	№6	№9

В результате исследователь располагает информацией о количестве экспериментов, все выбранные диапазоны параметров, а также имеет возможность для корректной регистрации экспериментов и учета их результатов.

## 2. Подготовка или конструирование лабораторной установки для азотирования.

- установка должна позволять задавать необходимые значения входных параметров процесса в выбранном диапазоне с установленным шагом в соответствии с матрицей эксперимента. Для регулируемых процессов желательно предусмотреть автоматическое изменение входных параметров и автоматический контроль выходных параметров процесса.

- рационализация лабораторного эксперимента должна предусматривать выполнение оптимального количества серий экспериментов в соответствии с матрицей эксперимента

## Систематизированное получение информации по выходным параметрам процесса.

- определение перечня методов исследований структуры, фазового состава и свойств упрочненных сплавов. Так, для исследования азотированных слоев традиционно используются металлографический, рентгеноструктурный, дюрOMETрический анализ, а также испытания специфических свойств ( $\Psi'$ ), например, испытания на износ. Для получения более детальной информации при необходимости исследователь должен предусмотреть привлечение и других методов исследования, например, электронной микроскопии, методов химического анализа и т.д.

- подготовка соответствующего оборудования.

- методика исследований. Например, при проведении металлографического анализа исследователь должен освоить технику приготовления микрошлифов с учетом специфической формы образцов, технику получения изображений микроструктур, в том числе с помощью новейших компьютерных технологий, методики количественной металлографии. Исследователь должен четко представлять себе возможности каждого метода исследований и его ограничения и сопоставить это с целями и задачами своего эксперимента.

- определение количества и специфики образцов для каждой серии эксперимента. Для наиболее рационального проведения эксперимента в каждом случае необходимо предусмотреть обработку всех типов образцов, как для структурных исследований, так и для испытаний механических или физико-химических свойств. Количество образцов в каждом эксперименте, таким образом, будет пропорционально числу предусмотренных методов исследования. Такой порядок позволит систематизировать результаты эксперимента по выходным параметрам и получить искомые зависимости этих параметров ( $\Psi, \Psi'$ ) от входных параметров ( $\Omega$ ).

#### **Интерпретация результатов и перспективы исследований.**

Если полученные зависимости ( $\Psi, \Psi'$ ) =  $f(\Omega)$  показывают однозначный эффект с точки зрения ожидаемого качества строения слоя и повышения свойств, то они являются предпосылкой для определения оптимальных входных параметров процесса. Зачастую наблюдается противоречие во влиянии входных параметров на различные выходные параметры. Например, повышение температуры азотирования положительно влияет на увеличение толщины диффузионного слоя сталей, но негативно влияет на особенности нитридных фаз (укрупнение нитридов), что в свою очередь, приводит к снижению твердости азотированного слоя. Такие факторы тоже необходимо учитывать при оптимизации параметров азотирования. В некоторых случаях информации, извлекаемой из первичного поставленного эксперимента, оказывается недостаточно для однозначной интерпретации. Тогда следует принять решение о расширении матрицы эксперимента, например, увеличить диапазон какого-либо параметра или сузить шаг его изменения, либо применить дополнительные методы исследования для более детального выявления возникающих эффектов.

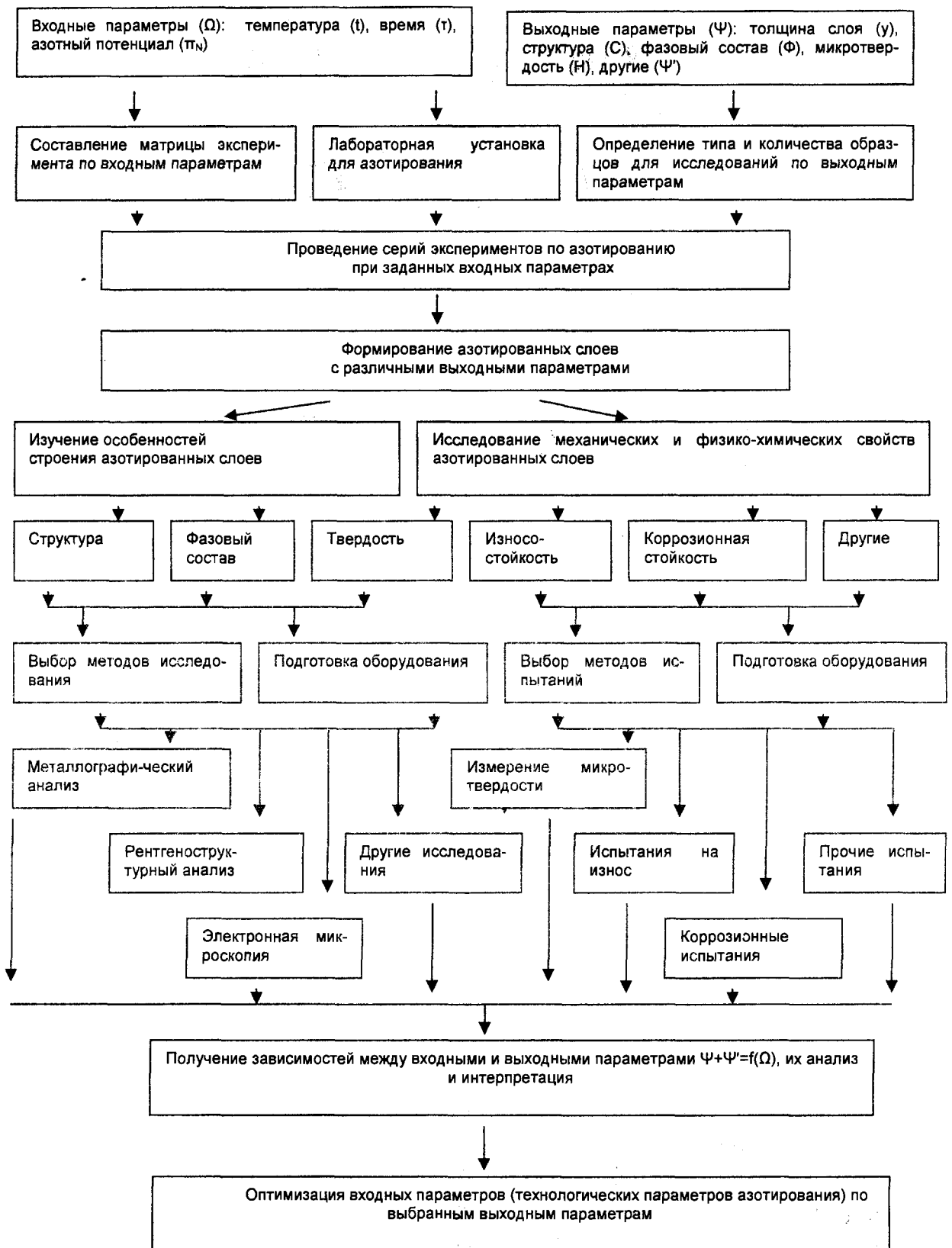
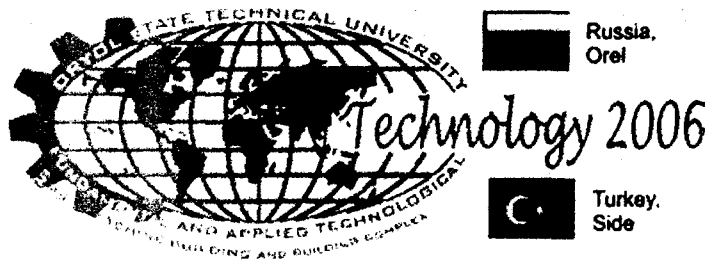


Рис. 1. Алгоритм проведения экспериментальных исследований по азотированию



УДК 621.762.32

## КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ШЛИКЕРНЫМ МЕТОДОМ С ПОСЛЕДУЮЩИМ АЗОТИРОВАНИЕМ

Н.В. Уханов, аспирант  
Московский Автомобильно-Дорожный Институт (ТУ)  
Москва, тел. (495)1812934, E-mail: [nick2003@list.ru](mailto:nick2003@list.ru)

## THE COMBINED PROCESSING OF CONSTRUCTIONAL STEEL BY SUSPENSION METHOD WITH THE SUBSEQUENT NITRIDING

N. V. Ukhanov, postgraduate  
The Moscow State Automobile & Road Technical University  
Moscow, tel. (495)1812934, E-mail: [nick2003@list.ru](mailto:nick2003@list.ru)

*The steel combined processing consisting of laser chemical-thermal processing, diffusion saturation by suspension and the subsequent nitriding is offered.*

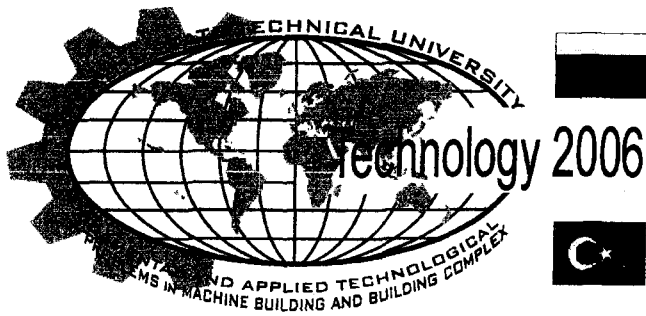
Шликерный метод – это метод диффузионного насыщения поверхности металла, который занимает промежуточное положение между методами насыщения из порошковых смесей и расплавов металлов и солей. Однако главным недостатком метода является большая продолжительность технологического процесса. Предварительная лазерная химико-термическая обработка (ЛХТО) поверхности насыщаемого металла позволяет снизить температуру и продолжительность процесса. Для этого на поверхности детали, с предварительно нанесенным на нее порошком легирующего элемента, путем лазерного оплавления получают зародыши твердого раствора легирующего элемента в железе. При последующей шликерной обработке в процессе нагрева в печи до определенной температуры, зависящей от типа легирующего элемента, вокруг зародышей формируются различные соединения легирующих элементов с железом, с последующей диффузией в глубь металла. Снижение температуры процесса, а также его продолжительности происходит в резуль-

тате того, что диффузия легирующих элементов в глубь металла происходит как из суспензии (шликера), так и от зародышей легирующих элементов. При этом в процессе предварительной ЛХТО необходимо создать такое количество зародышей легированных зон, которое обеспечит при дальнейшей шликерной обработке равномерность структуры как по поверхности, так и по толщине металла.

Структура диффузионного слоя главным образом определяется составом насыщаемого сплава и режимом диффузионного насыщения. Для примера, при насыщении хромом в соответствии с диаграммой состояния Fe-Cr диффузионный слой представляет собой твердый раствор хрома в  $\alpha$ -железе. При этом после насыщения железа и сталей наблюдается плавное падение концентрации легирующего элемента по толщине слоя. Но, как правило, не наблюдается точного расположения фазовых слоев в соответствии с диаграммами состояния легирующий элемент – насыщаемый металл, так как процесс диффузионного насыщения является неравновесным и скорости роста различных фазовых слоев могут значительно отличаться между собой.

Последующее азотирование поверхностно легированной стали, позволяет получить на поверхности металла твердость до 16000 МПа. Так как азотирование целесообразно проводить на сталях, предварительно поверхностно легированных нитридообразующими элементами, то в качестве легирующих элементов для ЛХТО и диффузионном отжиге используются металлы переходных групп с недостроенной  $d$  – оболочкой электронов. Азотирование проводится в частично диссоциированном аммиаке и азотонауглероживающих атмосферах (аммиак-пропан), при температуре 500-600 С°.

Данная комбинированная обработка позволяет заменить дорогие легированные стали на более дешевые конструкционные, с содержанием углерода 0,2 ... 0,45%. Также предложенный метод упрочнения позволяет разработать высокоэффективную технологию, обеспечивающую высокие показатели конструкционной прочности изделий. При этом изменяя технологические параметры процесса упрочнения в зависимости от конкретных целей и задач возможно получение оптимальных эксплуатационных показателей.



Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ



ски оптимальными мерами. Ее решение важно как для производителей продукции, так и для эксплуатационного, ремонтного персонала. Первые устанавливают режим работы агрегатов с учетом его состояния: выявляют износ оборудования при обследовании и контроле, определяют целесообразность его дальнейшей работы при существенном износе. Вторые участвуют в обслуживании оборудования с целью определения необходимого объема ремонта или реконструкции, разрабатывают оптимальные мероприятия по продлению срока службы, включающие обновление и ремонт узлов, регламентируют наблюдения за оборудованием во время его дальнейшей эксплуатации.

Контроль состояния оборудования можно осуществлять путем диагностирования. Опыт специалистов в области диагностирования показал, что эффективным методом контроля состояния оборудования в условиях непрерывной эксплуатации является виброакустический метод.

Наиболее распространенным методом оценки вибраций оборудования является частотный (спектральный) анализ вибраций который может основываться на измерениях:

- непосредственно при выполнении технологической операции;
- при работе на холостом ходу.

При этом часто встречаются ситуации когда на изменения амплитудно-частотных характеристик оборудования влияние износа оборудования значительно меньше или сопоставимо с влиянием неконтролируемых параметров (непостоянное число оборотов, непостоянная нагрузка и др.). При этом не представляется возможным определить величину износа оборудования путем диагностирования.

Для получения объективных результатов необходимо проводить оценку виброакустических параметров в жестко фиксированных условиях. Один из перспективных подходов реализуется, если агрегат (узел машины) рассматривать как линейную динамическую систему (см. рисунок), на вход которой подаются возмущающие воздействия  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , а на выходе регистрируются сигналы  $W_1, W_2, \dots, W_m$ .

Связь входных и выходных сигналов может быть представлена матричным уравнением

$$\bar{W} = [\Phi] \times \bar{R},$$

где  $[\Phi]$  - матрица передаточных функций размерности  $m \cdot n$ ;  $\bar{R}, \bar{W}$  - векторы входных и выходных сигналов размерностей соответственно  $n$  и  $m$ .

Свойства линейных динамических систем полностью определяются стандартными характеристиками:

- амплитудно- и фазочастотными (АФЧХ)  $W(j\omega)$  от заданного входа к определенному выходу;
- импульсной переходной  $K(t)$  (реакцией по заданному выходу от единичного импульса на определенном входе);

- переходной  $B(t)$  (реакцией на единичное ступенчатое воздействие), каждая из которых связана с двумя другими зависимостями [1,2]

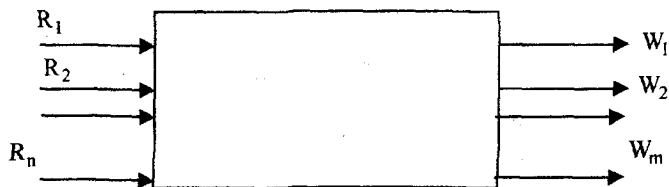


Рис. Схема линейной динамической системы

$$W(j\omega) = \int_0^T K(t) \times e^{-j\omega t} \times dt, \quad K(t) = \frac{d}{dt} \times B(t)$$

где  $t$  - время;

$T$  - продолжительность экспериментальной реализации процесса, подвергаемой обработке;

$\omega$  - частота;

$$j = \sqrt{-1}.$$

В свете этого положения оценки динамических свойств систем с использованием любой из заданных характеристик равноценны. Методы экспериментальных оценок вибраций могут создаваться в расчете на прямое определение любой из них с последующим вычислением других известными методами. Выбор метода экспериментальной оценки вибраций может определяться с учетом требований к методам, сформулированным выше.

Для регламентации жестко фиксированных условий испытаний машин, агрегатов, узлов по виброакустическим параметрам удобнее всего устанавливать определенные величины тех внешних воздействий, которые реализуются в принятом методе испытаний. В частности, если в испытаниях непосредственно измеряется переходная функция или импульсная переходная функция регламентируется ступенчатое или импульсное возмущение.

Для диагностирования оборудования предлагается перспективный метод оценки вибрационных характеристик, основанный на использовании переходных функций вибраций машин, полученных экспериментально, и последующем их пересчете к:

определению значений модулей  $|W(f)|$  АЧХ (амплитудно-частотные характеристики) для стационарных машин;

определению значений среднеквадратических ускорений на рабочих местах операторов  $\sigma$  (нормируемые по ГОСТ) для мобильных машин.

Таким образом, сравнительную оценку вибрационного состояния машин, агрегатов, узлов можно производить по модулям  $|W(f)|$  АЧХ и по среднеквадратическим ускорениям  $\sigma$ .

Предлагаемый метод оценки вибрационного состояния заключается в воспроизведении и регистрации переходной функции  $B(t_i)$  – реакцией элементов машины на ступенчатое возмущение – и последующем пересчете к

виду обеспечивающему сравнительную оценку вибрационного состояния машин – модуль  $|W(f)|$  АЧХ.

1. Регистрация переходной функции (реакция машины на ступенчатое возмущение) во временной области. По методам обработки сигналов способы измерения вибраций могут использовать аналоговую, либо цифровую фильтрацию. Способ цифровой фильтрации предполагает регистрацию вибраций (перемещений, скорости или ускорений) непосредственно во временной области и последующую цифровую обработку для преобразования информации в частотную область. Исходную информацию  $B(t_i)$  записи переходной функции представляют в виде дискретного числового ряда. В работе /3/ при статическом анализе случайных стационарных процессов шаг дискретизации  $\Delta t$  экспериментальных данных, описывающих колебательную систему, согласно теореме Котельникова-Найквиста, выбирается таким, чтобы частота дискретизации счета превышала максимально учитываемую в анализах частоту  $f$  процесса в 1.5 – 2 раза. Граничная частота  $f = \frac{1}{2\Delta t}$  называется

частотой Найквиста. При выбранном таким образом шаге дискретизации  $\Delta t$  полезная информация может быть получена для диапазона частот от 0 до  $f$ .

2. Определяются импульсные переходные функции

$$K(t_i) = \frac{1}{h} \int_0^{t_{\max}} B(t_i) \times m_b \times dt,$$

где  $m_b$  - масштаб записи виброускорений.

3. Вычисляется частотная характеристика, для чего выполняются следующие операции. Для дискретных частот  $f$ , вычисляются следующие величины:

промежуточные коэффициенты (действительная и мнимая части преобразований Фурье АФЧХ)

- для стационарных машин (одно единичное возмущение)

$$A_1(f) = \sum_{i=1}^N K(t_i) \times \Delta t \times \cos(2\pi f \times i \times \Delta t) ; \quad D(f) = \sum_{i=1}^N K(t_i) \times \Delta t \times \sin(2\pi f \times i \times \Delta t)$$

- для мобильных машин (два единичных возмущения – на передний и задний мосты)

$$A_1(f) = \sum_{i=1}^{N_1} K_1(t_i) \times \Delta t_1 \times \cos(2\pi f \times i \times \Delta t_1) ; \quad A_2(f) = \sum_{i=1}^{N_2} K_2(t_i) \times \Delta t_2 \times \cos(2\pi f \times i \times \Delta t_2)$$

$$D_1(f) = \sum_{i=1}^{N_1} K_1(t_i) \times \Delta t_1 \times \sin(2\pi f \times i \times \Delta t_1) ; \quad D_2(f) = \sum_{i=1}^{N_2} K_2(t_i) \times \Delta t_2 \times \sin(2\pi f \times i \times \Delta t_2)$$

4. Определяется:

- модуль АЧХ для стационарных машин (одно ступенчатое возмущение)

$$|W(f)| = \sqrt{A^2(f) + D^2(f)};$$

- квадрат модуля АЧХ для мобильных машин (два ступенчатых возмущения – на передний и задний мосты)

$$|W(f)|^2 = R^2(f) + G^2(f);$$

где

$$R(f) = A_1(f) + A_2(f) \times \cos(2\pi f \times \tau) - D_2(f) \times \sin(2\pi f \times \tau);$$

$$G(f) = D_1(f) + D_2(f) \times \cos(2\pi f \times \tau) + A_2(f) \times \sin(2\pi f \times \tau);$$

$\tau = \frac{L}{V}$  – время задержки воздействия неровностей типового микропро-

филя на задние колеса машины;  $L$  – база машины, м;  $V$  – скорость движения машины, м/с.

Для гусеничных машин

$$R(f) = A_1(f); \quad G(f) = D_1(f).$$

Вычисляются среднеквадратические ускорения на рабочих местах при движении по грунтовой дороге (для каждого диапазона частот)

$$\sigma = \sqrt{32\pi^5 \sum_{f_i}^{f_{i+1}} f_i^4 / W(f)^2 \times S \times F_i \times \Delta f},$$

где  $F_i$  – спектральная плотность возмущений от типового микропрофиля дороги,  $\text{см}^2 \times \text{с} / 4$ ;

$$F_i = K_p \times 0,73 \frac{(2\pi f_i)^2 + 0,31}{[(2\pi f)^2 - 0,31]^2 + 0,27(2\pi f_i)^2};$$

$K_p$  – поправочный коэффициент ( $K_p = 6,7$ );  $S$  – коэффициент сглаживания микропрофиля движителем, определяемый выражением  $S = 1$  – для колесных машин;  $\delta_x$  – длина поверхности контакта движителей с почвой, м;

$$S = \frac{V^2}{f_i^2 \times \delta_x^2 \times b^2} \text{ – для гусеничных машин};$$

$b$  – коэффициент, учитывающий равномерность нагрузки на опорную поверхность ( $b = 1$ , при равномерной нагрузке).

5. Производится сравнительная оценка вибрационного состояния с целью оценки качества выпускаемой продукции и состоянием агрегатов (машин) в процессе их штатной эксплуатации для:

- стационарных машин по модулю АЧХ ( $|W(f)|$ );
- для мобильных машин по среднеквадратичным значениям уровней виброускорений,  $\sigma$  на рабочем месте.

6. Производится оценка вибронегруженности рабочих мест операторов мобильных машин на соответствие допустимым нормам ГОСТ, по среднеквадратичным значениям уровней виброускорений,  $\sigma$  для соответствующих частот. Если для всех частот полученные значения вибраций меньше допустимых, объект признается соответствующим нормам по уровню транспортной вибрации на рабочем месте оператора. В противном случае делается заключение о несоответствии этим нормам.

Для автоматизации получения вибрационных характеристик используется стенд, оборудованного компьютерной системой сбора и обработки результа-

тов экспериментов с АЦП в среде Lab View. На рис 1 и 2 . представлены лицевая панель и блок диаграмма программы для измерения вибраций.

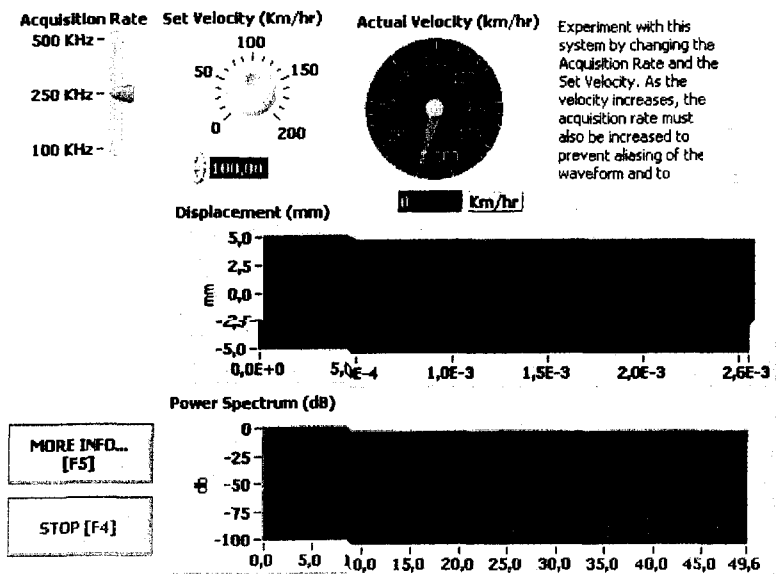


Рис.1. Лицевая панель для измерения вибраций

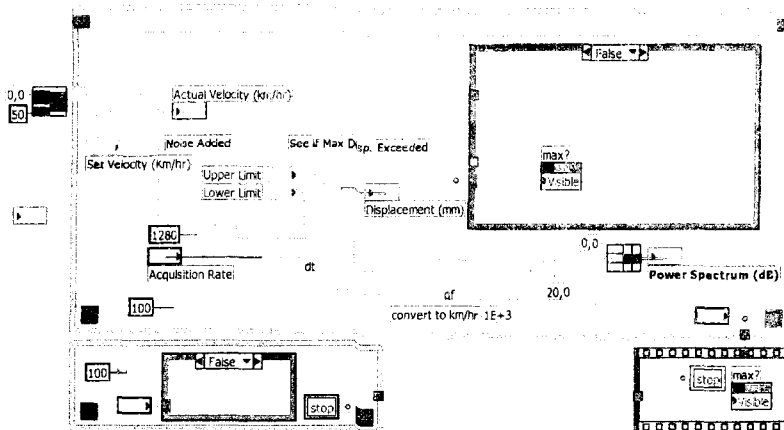
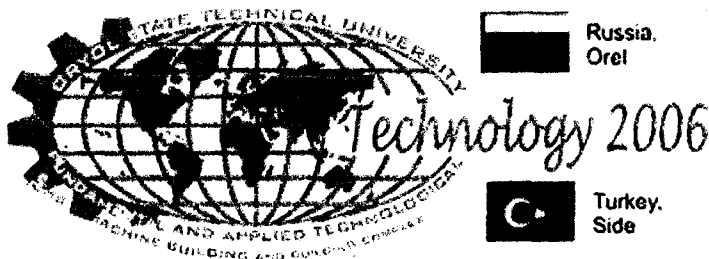


Рис.2. Блок –диаграмма программы для измерения вибраций

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильящук Ю.М. Измерение и нормирование производственного шума М.: Профиздат, 1964. С. 85-92.
2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Выпуск 1. М.: Мир, 1971. 316 с
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989 С. 330 – 338.
4. Арутюнян В.С. Обоснование параметров и разработка конструкции типового трека для испытаний колесных сельскохозяйственных тракторов по оценке вибрации: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1983. 24 с.



УДК 539.375.6: 621.36

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРУЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕЖИМЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ИЗНАШИВАНИЯ

И. А. Петрусенко, аспирант.

Орловский государственный технический университет  
Орел, тел.(4862)476853, E-mail:petra@newmail.ru

## THERMO-ELECTRIC ANALYSIS OF FRICTION ELEMENTS'S SURFACES CONDITION IN STEADY WEAR REGIME

I. A. Petrusenko, post-graduate student.

Orel State Technical University  
Orel, phone numb.(4862)476853, E-mail:petra@newmail.ru

*Considered process ageing in steady wear regime and validated necessity of instrumental method development for residual life assessment of friction pair.*

Жизненный цикл любого механизма, имеющего узлы трения, обычно подразделяют на 3 стадии: приработку, стадию установившегося режима нормального изнашивания и катастрофического изнашивания.

Режим установившегося изнашивания заключается в деформировании, разрушении и непрерывном воссоздании на отдельных участках поверхностного слоя со стабильными свойствами. На этой стадии происходит накопление скрытых явлений старения, проявлений циклической повреждаемости.

Старение металла представляет собой процесс накопления повреждений при циклическом воздействии нагрузки, который сопровождается эволюцией внутренней структуры и необратимой локальной деформацией.

Под скрытыми явлениями старения понимают возникновение неоднородности по химической активности и фактических отличий физико-механических и физико-химических свойств материала подповерхностного слоя элементов трения от свойств слоя, не подвергавшегося воздействию процессов и явлений, возникающих на поверхности трения и распространяющихся в подповерхностные слои материала трибосоприжения.

Возникновение неоднородности по химической активности подповерхностного слоя происходит вследствие прохождения диффузионных и адсорбционных процессов, осуществляющих обогащение этого слоя взаимодействующих частей различными химическими элементами.

Фактическое отличие физико-механических и физико-химических свойств подповерхностного слоя материала рабочей области трибосопряжения от свойств глубинного слоя проявляется в повышенной, по сравнению с глубинным слоем, концентрации напряжений старения, обусловленной накоплением деформаций и исчерпанием запаса пластичности на каждом этапе нагружения. Рассматриваемый подповерхностный слой состоит из сильно деформированных под действием внешних давлений зерен металла, т. е. величина его микротвёрдости меньше, чем у глубинного слоя.

Возникновение и накопление сильно деформированных под действием внешних давлений зерен осуществляется из-за того, что при каждом цикле нагружения на поверхностный слой материала рабочей области трибосопряжения действуют касательные напряжения, а некоторые из них, проходя через него, оказывают воздействие и на подповерхностный слой.

Таким образом часть внешних касательных напряжений вызывает единичные элементарные пластические деформации кристаллов в зернах. При этом характерный масштаб повреждений соизмерим с постоянной решетки железа.

Результат пластической деформации кристалла принято называть сдвигом. Наиболее распространенным видом сдвига является скольжение, заключающееся в смещении одной части кристалла параллельно второй части вдоль плоскости скольжения на одно межатомное расстояние. Линейное нарушение расположения атомов в кристалле называют дислокацией, т. е. следствием скольжения в кристалле является возникновение в нём дислокации. Таким образом, скольжение – это передвижение дислокации через весь кристалл на одно межатомное расстояние.

При  $N$  циклах нагружений происходит  $N$  действий касательных напряжений, часть которых обуславливает продолжение движения первичной дислокации внутри кристалла до выхода ее на поверхность, в результате которого одна часть кристалла выступает на одно межатомное расстояние за пределы поверхности, образуя ступеньку. Далее движение дислокации по кристаллу увеличивает размер этой ступеньки до тех пор, пока сам кристалл не разделится надвое. Последующее движение дислокации от одного кристалла к другому продолжается уже внутри зерна, обуславливая его деформирование.

По аналогичному, дислокационному, механизму происходит пластическое деформирование и других зерен подповерхностного слоя материала.

Фактическое отличие физико-механических и физико-химических свойств подповерхностного слоя материала рабочей области трибосопряжения от свойств глубинного слоя заключается еще и в том, что в рассматриваемом слое образуются критические по усталости зоны. Их возникновение происходит из-за наличия в любом материале дефектов, внутренних концентраторов напряжений различного масштаба: неметаллических включений, примесей, пустот. Они являются начальными точками движения наибольшего, по сравнению с кристаллами зерен, количества дислокаций. Микрообласти, находящиеся вокруг точечных дефектов материала, с движущимся в них

при пластическом деформировании большим количеством разнонаправленных дислокаций и есть критические по старению зоны.

На основании вышеизложенного накоплением скрытых явлений старения, проявлений циклической повреждаемости, можно назвать процесс роста числа деформированных и отличающихся от зерен глубинного слоя по химическому составу и строению микрообъемов подповерхностного слоя материала рабочей области пары трения. Циклическая повреждаемость проявляется в изменении характеристик механических свойств, определяющих сопротивление материала подповерхностного слоя рабочей области трибосопрежения внешним касательным напряжениям.

Оценка технического состояния пар трения формируется на основании результатов прогнозирования ресурса образца. Задача прогнозирования сводится к определению величины интервала времени, в течение которого с данного момента сможет проработать диагностируемая пара до отказа.

Прогнозирование работоспособности за больший, чем третья стадия, срок до отказа механизма требует знания тех его характеристик, которые непрерывно изменяются на стадии накопления скрытых явлений старения.

Анализ непрерывно изменяющихся на стадии накопления скрытых явлений старения характеристик показал, что наиболее информативной из них является структурное изменение подповерхностного слоя металла взаимодействовавших частей узла.

Сложность микро- и макроструктуры материала пар трения, процессов накопления скрытых проявлений циклической повреждаемости, влияния на эти процессы целого ряда конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов не позволили к настоящему времени разработать количественные модели на основе физико-химических представлений о механизме накопления внутренних повреждений. В связи с этим неразрушающих методов контроля характеристик, непрерывно изменяющихся на стадии накопления скрытых внутренних повреждений, в литературе практически не описано.

В настоящее время прогнозирование остаточного ресурса пар трения основывается на использовании данных, полученных из кривых усталостных опытных испытаний стандартных образцов. Однако, точность такого прогнозирования не велика из-за неустойчивости указанных кривых.

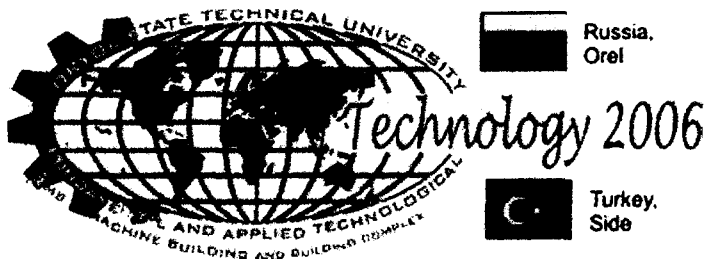
Поэтому необходим метод, позволяющий определить степень развития повреждений старения подповерхностного слоя трущихся элементов без разборки механизма.

Анализ возможных методов контроля показал, что для этой цели возможно использовать термоэлектрический метод. Экспериментальная проверка, проведенная на металлорежущем инструменте в зонах резания, подтвердила практическую возможность его использования.[1]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжин А. А., Синергетика изнашивания инструментальных режущих материалов РНД 2004 328с.





УДК 621.822.6-97: 621:317.757.08

## ТЕРМОШУМОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Н.В. Чекашова

Орловский государственный технический университет  
Орел, (4862)419876; E-mail:pms35@mail.ostu.ru

## ELECTRICAL THERMAL NAS METHOD OF CONTROL TEMPERATURE IN FLUID FRIOTION'S ZONE

N.V. Chekaschova

Oryol State Technical University  
Oryol, tel.(4862) 419877; E-mail:pms35@mail.ostu.ru

*Article considers thermal inspection method of lubricating stuff's temperature in train of gears's friction zone. Method includes frequency division of measuring channels. Presented results of investigation.*

Износ зубчатых механизмов и других фрикционных систем, работающих при жидкостном режиме трения, зависит от температуры смазочной плёнки и состояния поверхностей трения рабочих элементов. В процессе работы трибосопряжений происходит нагрев зоны трения и самой смазки. Повышение температуры в зоне трения приводит к снижению вязкости смазочного материала, и, следовательно, к уменьшению толщины смазывающего слоя. Постепенное уменьшение вязкости в последствии может привести к частичному разрушению смазывающей плёнки и к нарушению жидкостного режима трения. А это ведёт к увеличению износа пар трения и может даже привести к заклиниванию узла и выходу из строя всего механизма. Поэтому необходимо контролировать температуру смазочной пленки в зоне трения, что позволит предотвратить возможные аварийные ситуации путем изменения условия работы системы или путем ее своевременного выключения.

Одним из возможных неразрушающих методов измерения температуры смазочной плёнки в зоне трения является термошумовой метод, основан-

ный на зависимости интенсивности тепловых шумов смазочной пленки от её температуры. Смазочная пленка это диэлектрик с большим сопротивлением потерь, которое является источником тепловых электрических шумов. Суть метода состоит в измерении среднеквадратического значения напряжения тепловых электрических шумов, которые зависят от температуры смазки.

В соответствии с теоремой Найквиста на любом активном сопротивлении создаётся напряжение, так называемого белого шума. Значение этого напряжения определяется выражением:

$$\overline{E_{\text{ш}}^2} = 4 \cdot k \cdot \Delta f \cdot \Theta \cdot \text{Re} Z, \quad (1)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  – постоянная Больцмана;  $\Theta$  – абсолютная температура;  $\text{Re} Z$  – активная составляющая сопротивления;  $\Delta f$  – полоса частот измерения.

В приведённое уравнение входят две неизвестные величины: интересующая нас температура  $\Theta$  и активная составляющая сопротивления  $\text{Re} Z$ . Эти величины при работе подшипника изменяются по случайному закону и в каждый момент времени могут принимать различные значения

В [1] рассмотрены два способа реализации термощумового метода.

Первый способ предполагает поочерёдное измерение во времени среднеквадратического значения напряжения шумов и сопротивления смазочной плёнки.

Второй способ реализации термощумового метода предполагает одновременное измерение напряжения шумов и сопротивления смазочной плёнки, но в различных частотных каналах.

Реализация первого способа затруднительна из-за нестационарности процессов, протекающих в смазочном материале, поэтому для контроля температуры в зоне трения целесообразно применять способ с частотным разделением измерительных каналов. Для которого необходимо выяснить, как изменяется сопротивление смазочного материала в зависимости от частоты.

Для этого были проведены исследования сопротивления смазочного материала на различных частотах.

Смазочный материал Литол -24 был залит в измерительную ячейку, представляющую собой цилиндрический конденсатор высотой 60 мм, с внешним диаметром 55мм и внутренним 45мм. Затем в электрическую цепь были последовательно включены ячейка и заранее измеренное сопротивление нагрузки  $R_{\text{нагр}}$ , на котором измерялось напряжение шумов на заданной частоте настройки  $f$  при полосе пропускания  $\Delta f = 10 \text{ кГц}$ .

В результате измерения напряжений были получены значения, представленные в таблице 1

Таблица 1

Экспериментальные данные

	Частота, МГц	Сопротивление нагрузки, кОм		
		13	27	56
	20	2,4	2,7	2,3

	22	2,8	2,8	2,6
	24	2,4	2,4	2,3
	26	2,4	2,7	2,3

По экспериментальным данным были рассчитаны значения активной составляющей сопротивления смазки и построена зависимость этого сопротивления от частоты, представленная на рисунке 1.

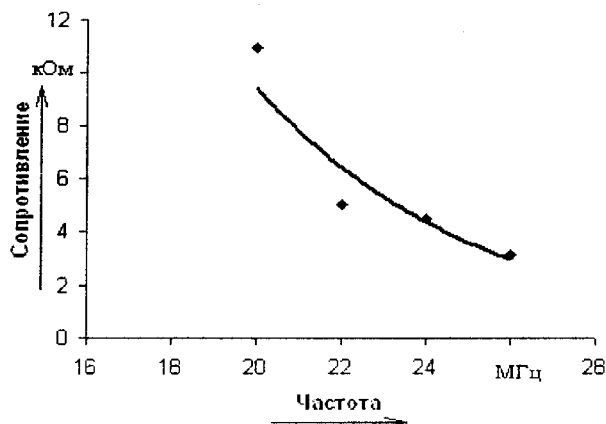
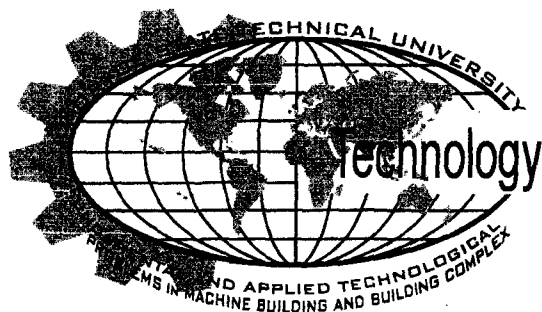


Рис.1. Зависимость активной составляющей сопротивления смазочного материала от частоты

Если известны частоты, на которых измеряется напряжение шумов и сопротивление смазочной плёнки, то при расчёте температур по напряжению шумов в формулу 1 может быть подставлено значения сопротивления на частоте  $f_1$ , определённое по приведённой кривой и значению сопротивления, измеренному на частоте  $f_2$ . Полученная кривая позволяет определить насколько изменяется сопротивление смазочной плёнки при переходе от одной заданной частоты к другой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корндорф, С.Ф. Термощумовой метод определения температуры смазывающей пленки / С.Ф. Корндорф, Н.В. Чекашова // Известия ОрелГТУ. сер. Машиностроение. Приборостроение. Орел: ОрелГТУ, 2005. №1. С.46-48.

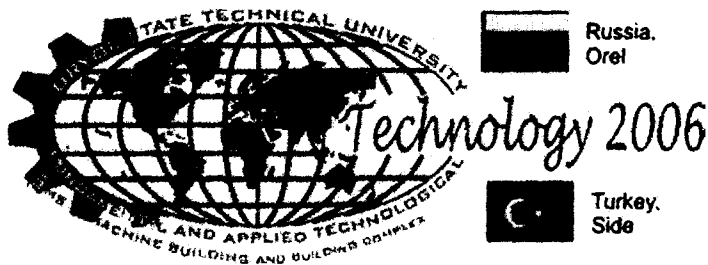


Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



УДК 66.096.5-492(043.3)

**АППАРАТ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ  
СУШКИ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕМ  
ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ВО ВЗВЕШЕННОМ  
ЗАКРУЧЕННОМ СЛОЕ**

Н.В.Земляков, к.т.н., доц., В.П.Корячкин, д.т.н., проф.  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел./fax(4862)551187, E-mail: mapp@ostu.ru

**THE DEVICE FOR REALIZATION SAVER ENERGY  
DRYINGS WITH SIMULTANEOUS DUST CLUTCH POLYDISPERSE  
FOODSTUFF IN THE WEIGHED TWIRLED LAYER**

N.V. Zemljakov, Tech.Sc.Can., Docent, V.P. Korjachkin, Prof., Dr.  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel/fax (4862) 551187, E-mail:mapp@ostu.ru

*Improvement of hydrodynamics of process of drying is a way to energy saver.*

Технологический процесс – сушка является одним из самых энергоемких процессов, поэтому создание новых высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов и установок позволит значительно снизить энергоемкость сушки.

В ОрелГТУ, на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» разработан новый высокоэффективный способ непрерывной и периодической сушки полидисперсного порошка пищевого продукта во взвешенном закрученном состоянии. Способ заключается в создании нисходящего и восходящего, закрученных в одном направлении воздушных потоков, причем восходящий из них является теплоносителем, а нисходящий непрерывно транспортирующим сырьевой продукт на верхнюю границу слоя, который в объеме рабочей камеры формируется в виде взвешенного, тороидального, закрученного вокруг вертикальной оси слоя. Такой слой может удерживаться

на определенной высоте в рабочей камере аппарата со встречными закрученными потоками (ВЗП). Путем изменения соотношений величин расходов в нисходящем и восходящем потоках, создают вертикальное перемещение тороидального слоя с определенной амплитудой, что позволяет выбрать оптимальный режим сушки для конкретного продукта. Такой способ сушки протекает в аппарате ВЗП с одновременным высокоэффективным пылеулавливанием. Технологическая схема процесса сушки представлена на рисунке 1. На рисунке 2 представлен эскиз энергосберегающего устройства аппарата ВЗП.

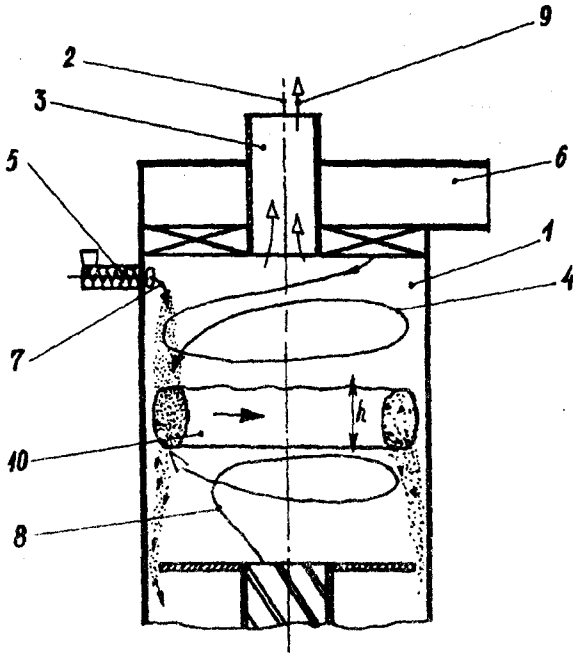


Рис.1

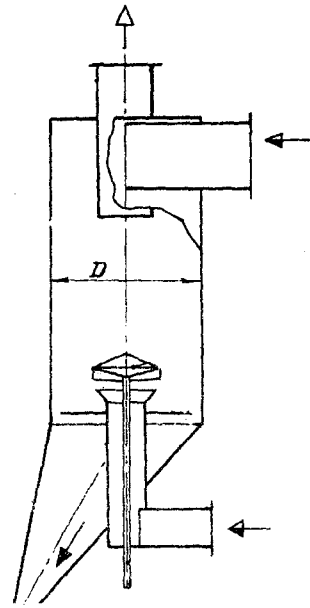


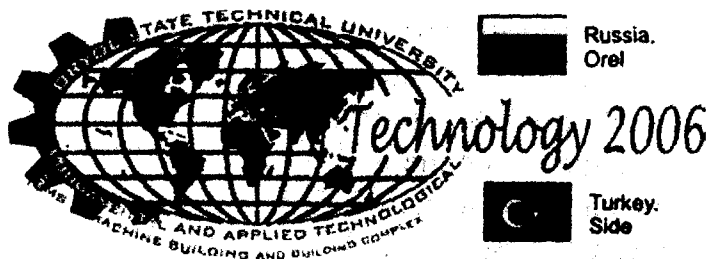
Рис.2

Во внутреннюю цилиндрическую полость аппарата 1 со встречными закрученными потоками с вертикальной осью симметрии 2, вдоль которой, в потолочной области размещен выходной патрубок 3 для вывода очищенного от пыли воздуха, вводят тангенциально или закрученный осевым завихрителем нисходящий поток воздуха 4, в который специальным дозатором 5 или через патрубок 6 для подачи нисходящего потока 4 вводят сырьевой, с повышенной влажностью, порошок 7 сушеного продукта. В центральной по высоте части аппарата, за счет соотношения расходов нисходящего 4 и восходящего 8 потоков по отношению к потоку 9 в выходном патрубке 3 создается взвешенный закрученный, тороидальный слой 10 определенной массы из сушеного пищевого порошка 7. Масса слоя 10 определяется параметром расхода очищенного воздуха в потоке 9. Затем при выбранном параметре расхода в потоке 9, изменяют параметр расхода в восходящем закрученном потоке 8, вследствие чего, тороидальный слой 10 начинает изменять свое положение по высоте рабочей камеры 1. При большем расходе воздуха в потоке 8 тороидальный слой 10 поднимается вверх, а при меньшем опускается вниз. При этом периодическую сушку осуществляют при неизменном положении слоя по высоте рабочей камеры, а непрерывную сушку порошка 7 пищевого

продукта производят при циклическом подъеме и опускании слоя 10 с определенной частотой. Высота подъема слоя 10 от нижнего его положения до верхнего, то есть амплитуда колебаний  $h$ , составляет также определенную величину.

Запатентованный способ сушки снизит время сушки за счет повышения активности гидродинамического процесса в объеме рабочей камеры. Кроме того, поскольку аппарат со встречными закрученными потоками является многофункциональным, то в нем наряду с высокоэффективной сушкой одновременно осуществляется и высокоэффективное пылеулавливание, а это позволяет уменьшить установку в технологической линии малоэффективных, но широко используемых пылеуловителей типа «Циклон».

Запатентованное устройство аппарата ВЗП позволяет при его работе осуществлять управление гидродинамическим сопротивлением по общему расходу воздушного потока.



УДК687.022-022.233

## РАСКРОЙ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОРНАМЕНТИРОВАННЫХ ТКАНЕЙ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО КРОЯ

Е. Л. Москина, к.т.н., Е. В. Прокопова  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862) 551120

## CUTTING OF SYNTHETICAL PATTERNED MATERIALS WITH THE PURPOSE OF IMPROVEMENT OF THE CUT'S QUALITY

E. L. Moskina, c.t.s., E. V. Prokopova  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862) 551120

*At Oryol State Technical University the researches in the region of the cut of  
synthetical patterned materials with the purpose of improvement of the cut's qual-  
ity and reduction of labourisity in the process of clothes production are held.*

Основной объём швейных изделий создаётся путём промышленного производства. Такая одежда изготавливается массовым тиражом. Это обусловлено тем, что на крупных предприятиях производство одежды представляет собой определённый технологический поток, изменить который не так просто. Внедрение новой модели требует изменения технологических условий, что крайне невыгодно для производителей. В связи с этим задачей комплексного проектирования и формирования целостного ассортимента бытовой одежды требует разработки и применения такого подхода, при котором происходит его насыщение. Поэтому работы по созданию новых моделей приобретают особо важное значение. Мода и новизна одежды становятся одним из главных признаков, определяющих её ценность для потребителя.

Новизна восприятия одежды достигается за счёт изменения её внешнего вида, добиться которого можно конструктивными изменениями, оказывающими влияние на формирование и силуэтное решение моделей. Дан-



ные изменения непосредственно влияют на технологию их изготовления, что вызывает дополнительные затраты.

Применением средств композиционного разнообразия (СКР) так же можно добиться различного восприятия внешнего вида изделий. Однако они оказывают не одинаковое влияние на технологию изготовления швейных изделий. Остановимся на СКР, не оказывающих влияние на технологию, т.е. их введение не приводит к изменению состава операций, оборудования, схем сборки, трудоёмкости изделий и т.п. Это, например, изменение цвета и рисунка материала. Ошибочно предполагать, что любая замена орнаментированной ткани на другую создаст новизну изделия и не отразится на восприятии её формы, конструктивном и технологическом решении, декоративном оформлении. В связи с этим, следует отметить факторы, которые необходимо учитывать при подборе орнаментированной ткани для получения новизны восприятия изделий и её взаимодействия с другими элементами композиции, особенно формой, характером поверхности и её членениями.

Данные факторы таковы:

- Тематическое содержание мотивов, составляющих орнаментальные композиции, т.е. жанр орнамента;
- Способ изобразительной подачи орнамента;
- Колористическое и тональное решение орнаментальной композиции;
- Масштаб раппорта орнамента;
- Ритмическая повторяемость мотивов в орнаменте;
- Степень заполнения фона;
- Расположение и направленность рисунка;

Все эти факторы находятся в прямой зависимости от физических свойств, структуры и фактуры материала. При выборе рисунка следует помнить не только о его декоративности, но и о его взаимодействии с другими элементами композиции, особенно формой, характером поверхности и его членениями. Часто по линиям образованным швами, происходит искажения рисунка в результате нарушения его целостности или изменения его направления. Иногда, наоборот, нарушается целостность декоративно-конструктивных линий под влиянием рисунка, а ткани с высокой степенью заполнения фона делают эти линии малозаметными. Это вызывает трудности при изготовлении одежды. Рисунок в отличие от цвета может оказать существенное влияние на материалоемкость и трудоёмкость изделия.

В связи с этим необходимо отметить, что искажение рисунка по линиям образованным швами может происходить из-за оплавления и деформации срезов деталей при раскрое. Синтетические ткани, состоящие из химических волокон, получаемые из расплавов полимеров, обладающие прекрасными эксплуатационными и технологическими свойствами, привлекательным внешним видом прочно вошли в жизнь человека. Широкое применение синтетических тканей накладывают свои требования при раскрое, так как про-

Процесс резания сопровождается выделением значительного количества тепла, образуемого в результате деформации и трения по соприкасающимся поверхностям трущейся пары «нож-материал», что и ведёт к оплавлению и деформации срезов деталей. Такие детали требуют последующей дополнительной обработки (осноровки), что не желательно для тканей, содержащих клетчатку, полосу, направленный рисунок.

При разрезании настиллов тканей из синтетических волокон происходит нагревание ножа, налипание на нож элементов деструкции материала, оплавление краёв срезов деталей и слипание кромки срезов деталей. Такое явление приводит к дополнительным затратам по отделению деталей из пачки, при этом края лохматятся, что создаёт трудности не только в последующих обработках детали, предусматривая дополнительные технологические операции, но иногда детали перестают соответствовать своим размерам.

При рассмотрении данного явления, был произведён теоретический анализ системы «нож-настил-окружающая среда» и выявлены основные направления снижения налипания полимера на нож при раскрое синтетических тканей. Наибольший интерес представляет пластическая деформация обрабатываемого материала в процессе резания и сопровождающее резание тепловыделение как результат деформации обрабатываемого материала и трения на контактных поверхностях ножа стационарной раскройной ленточной машине (СРЛМ).

В результате анализа сделано следующее заключение о снижении налипания элементов деструкции полимера спекаемости полотен в настиле путём:

- уменьшения скорости резания;
- использование охлаждения подсистемы «нож-настил» в месте реза.

Уменьшение скорости резания, требует изменения конструкции СРЛМ в сторону её усложнения (введение вариатора скорости) и ухудшает качество реза. Поэтому снижения налипания элементов деструкции материала на нож возможно применением смазочных агентов, которые уменьшают силу трения и понижают адгезию на контактирующих поверхностях ножа, элементов деструкции и настила. Введение смазывающего действия вызывает уменьшение тепловой мощности процесса и, соответственно, тепловыделение.

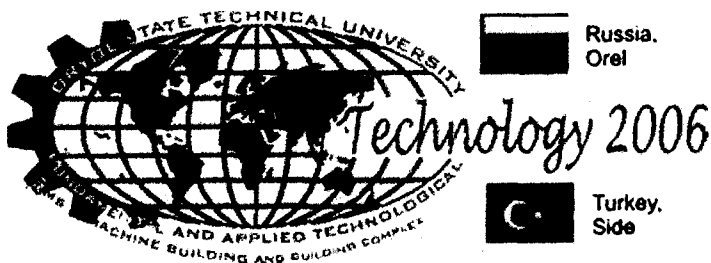
Так же экспериментально подтверждено, что температуру в зоне резания можно значительно понизить, вводя в эту зону охлаждающие средства. Хороший эффект охлаждения даёт охлаждение зоны резания углекислым газом, азотом или другими инертными газами. Однако их применение вредно для здоровья и загрязняют окружающую среду. Особое внимание на охлаждение ножа заслуживает применение сжатого воздуха, который подается, централизовано в цех к рабочему месту и не требует серьёзных изменений в конструкции СРЛМ.

Для исследования влияния сжатого воздуха была выбрана 52 артикулярная группа тканей, с содержанием 100% синтетических волокон.

В результате подачи на нож сжатого воздуха, характер оплавления срезов изменяется: сжатый воздух охлаждает кромку ножа и дополнительно уп-

лотня настил, непосредственно перед разрезанием, позволяет полотнам в настиле избежать спекания, что в свою очередь улучшает чистоту среза. Сжатый воздух подаётся через гибкий шланг, прикреплённый к защитному экрану ножа через сопло прямоугольной формы. Следует отметить, что при подаче воздуха при давлении 2-5 атм., спекание полотен уменьшается. Так разрывная нагрузка на 1 см среза составила 1,2 Н, после использования воздуха  $- 6 \cdot 10^{-3}$  Н, т.е. отделение полотен друг от друга происходило практически без усилия. При этом улучшилась чистота среза.

Первоочередным требованием к новым, модным товарам - является их качество. Основной характеристикой качества изготовления изделия является степень приближения реального, изготовленного в данном процессе изделия или детали к его расчётному номинальному прототипу. Эту степень приближения принято называть точностью. Усовершенствование работы СРЛМ, рассмотренные выше, позволяют достичь получения более точного края деталей, которое в дальнейшем, при сборке, поможет приблизить реально изготовленное изделие, к проектному образцу не нарушая его эстетической ценности. Увеличение выпуска внешне разнообразной, модной одежды невозможно без облегчения работы пошивочных цехов, которое в свою очередь зависит от работы подготовительно-раскройного производства, а в частности от оборудования, применяемого при окончательном раскрое деталей изделия. Следовательно, необходимо искать способы и методы усовершенствования процесса проектирования и изготовления одежды, которые в конечном итоге помогут получить качественные, эстетически приемлемые образцы швейных изделий, отличающиеся внешним разнообразием, соответствующие современным требованиям моды. Именно эту проблему мы хотели отразить в данной статье.



УДК 687.17.03

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЯДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СПЕЦОДЕЖДЫ

М.В. Родичева, к.т.н., А.В. Абрамов,  
А.В. Уваров, к.т.н., с.н.с., Е.М. Гнеушева, к.т.н.  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел(0862)551031, E-mail ral@orel.ru

## MEASURING COMPLEX FOR DEFINING SOME PARAMETERS OF SPECIAL CLOTHES QUALITY

M.V.Rodicheva, A.V.Abramov, A.V.Uvarov, E.M. Gneusheva  
The Oryol State Technical University  
Oryol, rel (0862) 551031, E-mail ral@orel.ru

*The measuring complex is developed for defining some parameters quality of special clothes in OrelSTU. The measuring complex is equipped with software for automated gathering and processing the results measurement.*

В рамках научно-технической программы «Индустрия образования» авторами разработан новый измерительный комплекс для автоматизированного определения теплофизических свойств материалов, пакетов и элементов конструкций специальной одежды для защиты человека от перегрева и переохлаждения в неблагоприятных метеорологических условиях (рис. 1).

Измерительный комплекс, оснащенный электронным интерфейсом и программным обеспечением для автоматизации эксперимента и обработки его результатов, используется как в учебном процессе, так и в научных исследованиях при создании новых наукоемких конкурентоспособных изделий.

Авторами проведены сравнительные испытания современных зарубежных швейных материалов-утеплителей.

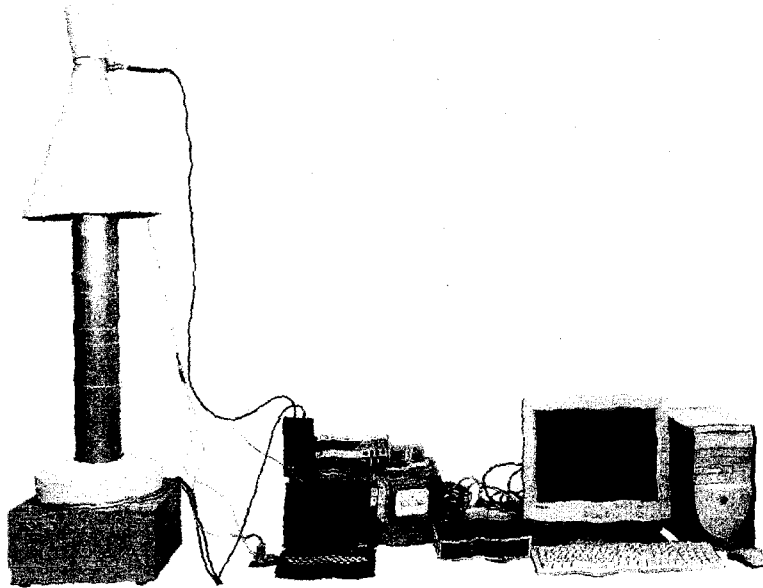


Рис. 1. Внешний вид измерительного комплекса

Таблица 1

Результаты измерения суммарного теплового сопротивления зарубежных материалов

Наименование образца	Суммарное тепловое сопротивление (CLO)	
	Данные фирмы-изготовителя	Результаты измерений авторов
Finnpile art. 1200	2,0	2,05
Finnpile art. 2470	1,8	1,94
Finnpile art. 1516	1,6	1,71
Toray ALS - 150	2,8	2,65

Приведенные результаты показывают, что полученные измерения определяемой величины близки к данным фирм-изготовителей.

Следующим этапом научных исследований теплообмена в биотехнической системе «Человек – одежда – окружающая среда» было использование активных воздушных прослоек в конструкции одежды для повышения эффективности и регулирования интенсивности теплопереноса в рассматриваемой системе. Сложность проблемы определяется тем, что в процессе одновременно действуют все четыре составляющие теплообмена, а именно: теплопроводность в материалах и пакетах одежды, тепловое излучение в сложной системе серых тел, конвекция под одеждой и на наружной её поверхности, а также теплообмен при фазовых переходах влаги, то есть её испарении или конденсации.

Для определения конвективной составляющей теплообмена предложена новая конструкция измерительного узла, представленная на рисунке 2. Измерительный узел представляет собой воздухозаборное устройство, состоящее из диффузора (1) переходного кольца (2) и конфузора (3). Переходное кольцо предназначено для установки первичного преобразователя скорости воздушного потока в соответствующей точке поперечного сечения воз-

духозаборного устройства. Измерительный узел размещается непосредственно над рабочей поверхностью биотехнического эмулятора (БЭТ), как показано на рисунке 2.

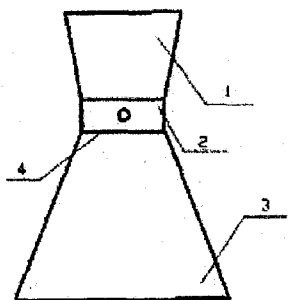


Рис. 2. Схема воздухозаборного устройства

Принцип определения интенсивности конвективного теплообмена состоит в измерении скорости и температуры воздуха в переходном кольце, а также температуры воздуха вдали от рабочей поверхности БЭТ. В условиях естественной конвекции, воздух, участвующий в теплообмене, нагреваясь от рабочей поверхности, поднимается вверх, проходя через переходное кольцо, в котором установлен первичный преобразователь скорости и температуры воздушного потока. Зная скорость  $V$  (м/с) и площадь поперечного сечения кольца  $S$  (м<sup>2</sup>) можно определить массовый расход воздуха, принимающего участие в теплообмене,  $G$  (кг/с), по формуле:

$$G = v \cdot S \cdot \rho \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха при заданной температуре, кг/м<sup>3</sup>.

Измерив температуру воздуха в переходном кольце и вдали от рабочей поверхности, зная удельную теплоемкость воздуха можно рассчитать конвективный тепловой поток, нагревающий воздух после контакта с поверхностью теплообмена по формуле:

$$Q_{\text{конв}} = G \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) \quad (2)$$

где  $c_p$  - удельная теплоемкость воздуха (Дж/кг·К);  $t_1$  - температура воздуха в переходном кольце;  $t_2$  - температура окружающей среды.

На первом этапе были проведены предварительные исследования потенциальной эффективности элементов конструкции одежды в виде тканевых оболочек с различными величинами воздушных прослоек, в сочетании с вентиляционными элементами, создающими активные воздушные прослойки между рабочей поверхностью и внутренней поверхностью пакета в пределах от 10 до 50 мм. При этом оболочки выполнялись из воздухонепроницаемого материала, исключающего проникновение воздуха из окружающей среды через материал. Вентиляционные элементы представляли собой прямоугольные отверстия и конические воздухозаборные устройства. Количество элементов в течение эксперимента изменялось согласно схеме на рисунке 3.

Результаты исследований представлены на рисунке 4. Из графиков видно, что конвективно-вентиляционная составляющая теплообмена в закрытой воздушной прослойке отсутствует. Минимальная величина вентиля-

ционно-конвективного теплового потока в открытых прослойках находилась в пределах от 15 до 35 Вт при использовании открытых прямоугольных отверстий на четырех высотах (рис. 3,а).

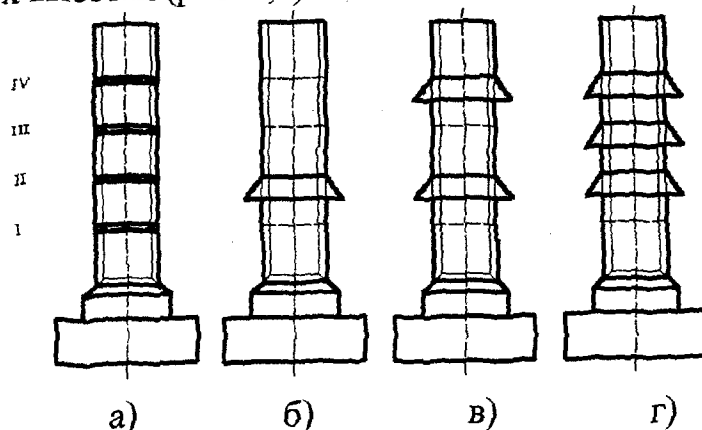


Рис. 3. Схемы расположения вентиляционных элементов в пакетах одежды:

- а) прямоугольные вентиляционные отверстия на высотах I, II, III, IV;
- б) коническое воздухозаборное устройство - клапан № 2 (на высоте II);
- в) конические воздухозаборные устройства - клапаны №2 и №4 (на высоте II и IV);
- г) конические воздухозаборные устройства - клапаны №2, №3, №4 (на высоте II, III, IV)

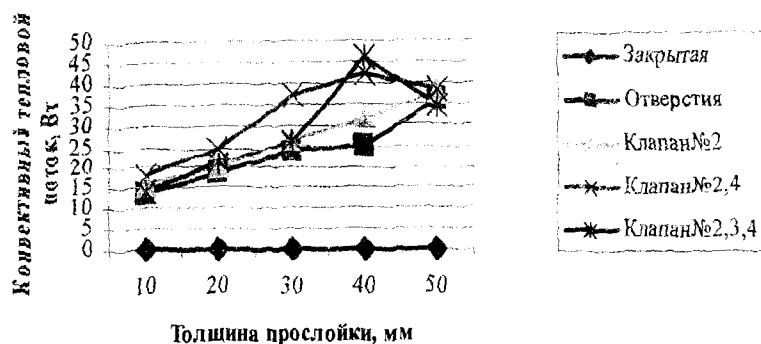
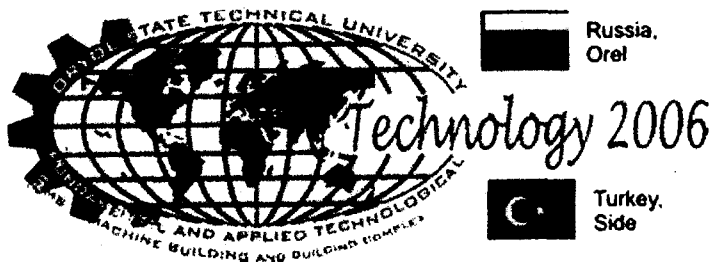


Рис. 4. Результаты исследований пакетов одежды

При использовании в качестве вентиляционных элементов одного конического воздухозаборного устройства (рис. 3,б) рассматриваемый конвективный тепловой поток мало отличается от варианта 3,а. Максимальная величина конвективного теплового потока в данном цикле опытов получена при варианте 3,в. Конвективный поток в варианте 3,г ниже, чем в варианте 3,в. Предварительно это можно объяснить тем, что при входе наружного воздуха в прослойку возможно образование определенной вихревой зоны, приводящей к уменьшению площади поперечного сечения потока.

В перспективе наши исследования проводятся с целью обоснования и разработки новых конструкций одежды с управляемыми параметрами суммарного теплового сопротивления в зависимости от метеорологических условий окружающей среды и величины внутренних тепловыделений организма человека.



УДК 683.03

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СПОРТИВНОЙ ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЫ

А. А. Тарапанов, к.т.н.

Орловский государственный технический университет  
Орел, тел.(4862)541503, E-mail: ti@ostu.ru

## QUALITY MANAGEMENT OF SPORTS LADY'S WEAR

A. A. Tarapanov, Tech.Sc.Can.,

Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862)541503, E-mail: ti@ostu.ru

*In clause data on measurement of quality of garments on an example of tennis female dresses are cited.*

Качество и конкурентоспособность спортивной женской одежды для российских производителей является необходимым условием расширения рынка своей продукции, как в России, так и за рубежом. В значительной степени это относится к такому быстроразвивающемуся в России виду спорта, как теннис, где, безусловно, наиболее выразительными и эффектными, на наш взгляд является.

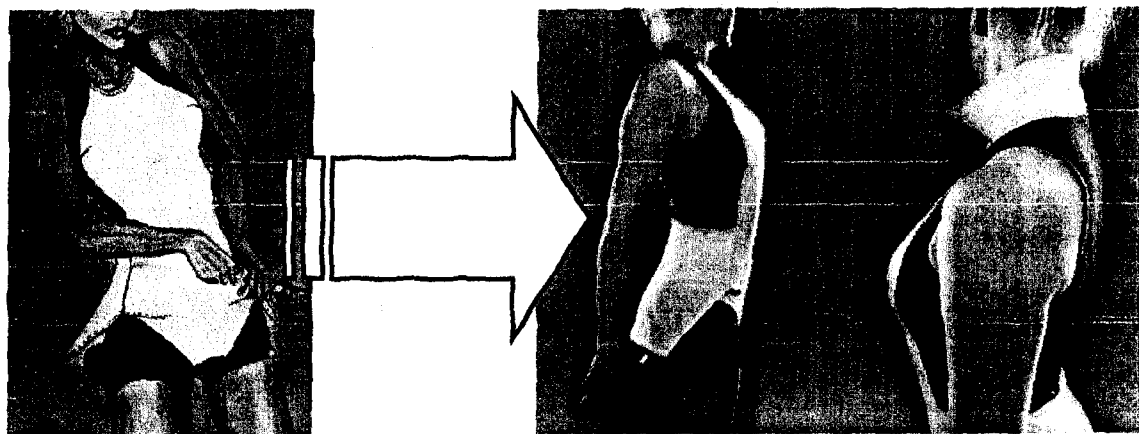
Качество должно измеряться, и может отражаться, например, причинами и частотой проявления дефектов, которые проявляются при натуральных испытаниях образцов изделий.

Испытаниям подвергались эксклюзивные модели теннисных платьев (рис. 1) изготовленные на ЗАО «Радуга» г. Орел. Количество испытываемых образцов – двадцать. Материал платья хлопок 60%, полиэстер 40%. Скрепляющий материал – нитки 24 ЛТ.

Испытания проводились на открытых кортах г. Орла с покрытием «hard» в течение весенне-летнего сезона (май – август) 2003. Общее время испытаний 300 часов.



Оценка результатов проводилась по схеме: полученные данные – диаграмма Парето – причинно-следственная диаграмма – специальная диаграмма Парето [1,2].



а

б

Рис. 1. – Исследуемая модель теннисного платья:

а – проект модели

б – рабочий образец модели

Были выделены четыре основных дефекта теннисных платьев: разрыв основного материала, разрыв по шву, деформация основного материала, изменение сочетания цветов. Остальные дефекты не принимались во внимание ввиду незначительной частоты их повторения, и они отнесены к прочим.

При анализе диаграммы Парето выяснилось, что фактор «разрыв по шву» самый весомый и составляет 40% по отношению к другим дефектам платьев от их общей суммы. Поэтому дальнейший анализ этого дефекта и определение причин его появления становится наиболее важным.

С этой целью построена причинно-следственная диаграмма, в которую были включены следующие факторы: 1 – разрыв по шву; 2 – марка швейных машин; 3 – скрепляющий материал; 4 – ошибка оператора; 5 – ошибка наладчика; 6 – подготовка рабочего места; 7 – вентиляция; 8 – шум; 9 – грязь; 10 – освещение; 11 – температура; 12 – уборка; 13 – индикация безопасности; 14 – личные достижения; 15 – обучение и практика; 16 – толщина (номер) скрепляющего материала; 17 – состав скрепляющего материала; 18 – качество скрепляющего материала; 19 – срок работы; 20 – периодичность отказов; 21 – состояние механизма швейных машин; 22 – квалификация; 23 – качество регулировки; 24 – контроль наладки.

Исследование диаграммы показало, что из всех занесенных в неё причин основное влияние на дефекты платьев оказывают: 1 – качество регулировки; 2 – состояние механизма; 3 – марка швейных машин; 4 – квалификация оператора.

Для выделения основного фактора была построена специальная диаграмма Парето, из которой следует, что наиболее важной причиной дефектов теннисного платья является качество регулировки швейных машин.

Отсюда для увеличения надежности и повышения качества теннисных платьев следует:

- обратить основное внимание на работу наладчиков швейных машин;
- использовать современные швейные машины;
- повысить квалификацию оператора.

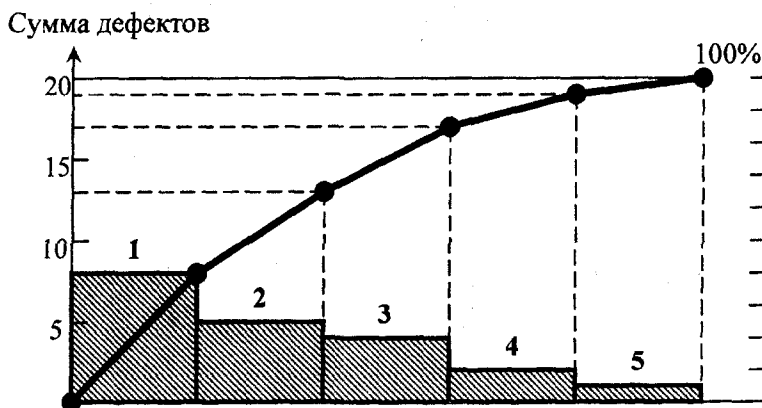
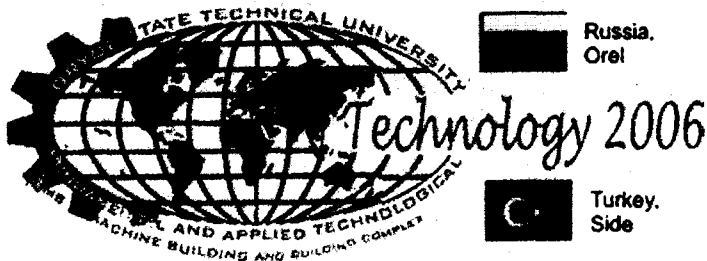


Рис. – 2. Диаграмма Парето для анализа причин дефектов теннисных платьев:

- 1 – разрыв по шву; 2 – деформация основного материала;  
 3 – разрыв основного материала;  
 4 – изменение сочетания цветов; 5 – прочие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К. Исикава Японские методы управления качеством. М.: Экономика, 1988. 320 с.
2. А.С. Тарапанов, Производственный менеджмент. / Тарапанов А.С., Тарапанов А.А. Орел: ОрелГТУ, 2003. С. 86–96.



УДК 677.07

## ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНО-ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А. А. Черепенько, к.т.н., доцент, А. П. Черепенько д.т.н., проф.  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел.(4862)541503, E-mail: ti@ostu.ru

## FINAL DAMP-THERMAL PROCESSING OF GARMENTS

A. A. Cherepenko, Tech.Sc.Can., Docent, A. P. Cherepenko, Ph.D, Prof.  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862)541503, E-mail: ti@ostu.ru

*Offered technological process allows to carry out final damp-thermal processing by the combined influence of pressing and vibration without stacking a jacket that provides high quality of a product and high efficiency*

При изготовлении швейных изделий окончательная влажно-тепловая обработка (ВТО) занимает значительный удельный вес – обеспечивает устранение неровностей (помятостей) и восстановление искаженных форм объемных участков, возникающих в процессе пошивочно-сборочных операций, тем самым придавая изделиям требуемый товарный вид и необходимые размеры.

Из литературных и информационных источников известно, что окончательная ВТО мужского пиджака, как наиболее сложного швейного изделия, в настоящее время производится статическим или динамическим методами силового воздействия с предварительным переводом волокон тканей в высокоэластическое состояние и с последующей сушкой и стабилизацией.

Мужской пиджак в процессе окончательной ВТО подвергается многократным теплофизическим и физикомеханическим воздействиям, так как его поверхность разбивается на отдельные участки. Для проведения ВТО

такие участки, как стойка воротника, верх рукава, верх рукавов ниже подокатников, клапаны карманов, плечевые окаты, лацканы обрабатываются статическим методом – прессованием, а стан пиджака разбивается на три – шесть участков, которые обрабатываются как статическим, так динамическим методом – виброформованием [1 - 7].

Следствием дифференциации поверхности пиджака на отдельно обрабатываемые участки является многообразие технологических схем обработки, обуславливающих многократное переукладывание или перенавешивание и вызывающих непредвиденную деформацию, это не в полной мере позволяет повысить производительность и улучшить качество окончательной ВТО, но не смотря на различие схем обработки все они имеют общие признаки.

На рис. 1 представлены характерные технологические схемы окончательной ВТО мужского пиджака, применяемые, в том числе и в России.

Такое разнообразие технологических схем обусловлено недостаточной изученностью теплофизических процессов при переводе волокон тканей в высокоэластическое состояние, механическом воздействии, сушке и стабилизации, а также физико-механических процессов при прессовании и виброформовании при окончательной ВТО.

Совершенствование теплофизических и физико-механических процессов позволило разработать новый способ [8] и высокоэффективный технологический процесс окончательной ВТО мужского пиджака включающий последовательность и длительность операций, режимы обработки, а также параметры и пределы рабочих сред, механического давления, частоты и амплитуды вибрации, температуры гладильных поверхностей рабочих органов.

Так, после навешивания пиджака на манекен и подвода шаблонов под лацканы, клапаны карманов, воротник обработка производится в автоматическом режиме по заданной программе.

После подвода с зазором  $h_3 = 5...10$  мм подушек стойки воротника, верха рукавов, клапанов карманов производится пропаривание через них полуфабриката паром с температурой не менее  $135^{\circ}\text{C}$ , а через манекен - с температурой не менее  $110^{\circ}\text{C}$ .

Затем осуществляется одновременное нагружение стойки воротника, верха рукавов и клапанов карманов давлением  $P = 0,03...0,12$  МПа в течение времени, обеспечивающем уменьшение межволоконных пространств тканей, затем в том же интервале давлений осуществляется прессование вышеуказанных участков пиджака до достижения деформации нитей основы и утка в точках их касательных плоскостей не более 50%, после чего полуфабрикат разгружается в течение заданного времени с соответствующей остаточной деформацией тканей.

По окончании прессования и отвода рабочих органов вышеупомянутых участков пиджака подушки для обработки плечевых окатов подводятся с



Рис.1. - Известные технологические процессы окончательной ВТО мужского пиджака

зазором  $h_3 = 5...10$  мм, осуществляется пропаривание через них полуфабриката паром с температурой не менее  $135^{\circ}\text{C}$ .

Далее осуществляется нагружение плечевых окатов давлением  $P = 0,03...0,12$  МПа в течение времени, обеспечивающем уменьшение межволоконных пространств тканей, затем в том же интервале давлений осуществляется прессование вышеназванных участков пиджака до достижения деформации нитей основы и утка в точках их касательных плоскостей не более 50%, после чего область плечевых окатов разгружается во-время и подушки отводятся в исходное положение.

Затем подводится подушка для обработки лацканов с зазором  $h_3 = 5...10$  мм и осуществляется пропаривание через нее полуфабриката паром с температурой не менее  $135^{\circ}\text{C}$ .

По окончании пропаривания осуществляется нагружение лацканов давлением  $P = 0,03...0,12$  МПа в течение времени, обеспечивающем уменьшение межволоконных пространств тканей, затем в том же интервале давлений осуществляется прессование лацканов до достижения деформации нитей основы и утка в точках их касательных плоскостей не более 50%, после чего лацканы разгружаются во-время.

После отвода подушки в исходное положение изделие пропаривается через бюст и торс манекена со стороны подкладки паром с температурой не менее  $135^{\circ}\text{C}$ .

По окончании пропаривания последовательно осуществляется виброформование пиджака в горизонтальной и переходной плоскостях манекена в течение не более 0,25 общей длительности одного периода нагружения с частотой  $f = 3...20$  Гц и амплитудой  $A = 1...2,5$  мм вибрации.

При этом параллельно обработке в переходной плоскости манекена осуществляется виброформование пиджака в вертикальной плоскости в течение не менее 0,5 общей длительности каждого периода нагружения частотой  $f = 3...20$  Гц и амплитудой  $A = 1...2,5$  мм вибрации.

Затем параллельно обработке в вертикальной плоскости манекена осуществляется виброформование пиджака в переходной и последовательно в горизонтальной плоскостях в течение не более 0,25 общей длительности каждого периода нагружения частотой  $f = 3...20$  Гц и амплитудой  $A = 1...2,5$  мм вибрации.

Сушка пиджака производится воздухом, нагретым до температуры  $100^{\circ}\text{C}$ , а стабилизация через манекен вакуумным отсосом производительностью  $Q = 0,11 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  при разрежении  $\Delta P = 49$  Па.

При этом удаление (аспирация) из зоны обработки отработанного технологического пара, воздуха и тепла начинается с началом пропаривания стойки воротника и заканчивается с началом стабилизации вакуумным отсосом.

Съем обработанного пиджака производят вручную.

Для наглядности разработанный технологический процесс окончательной ВТО мужского пиджака в табличной форме представлен на рис. 2.

Разработанный технологический процесс позволяет осуществлять окончательную ВТО комбинированным воздействием прессования и вибрации без перенавешивания и переукладки пиджака, что обеспечивает хорошее качество изделия и высокую производительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

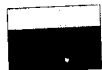
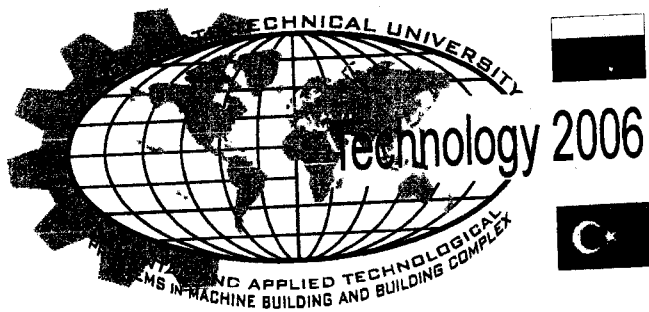
1. Gunter Goring. Rationalisierung in der Bugelei // Bekleidung und Wasche, 1972. Noll. S.796 - 804.
2. Gunter Goring. Rationalisierung in der Bugelei // Bekleidung und Wasche. 1972. №12. S. 885 - 889.
3. Временная инструкция по организации централизованных цехов влажно-тепловой обработки швейных изделий. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1982. С.82 - 96.
4. Macpi – ITMA - Neuentwicklungen // Bekleidung und Wasche, 1976. № 6. S.330 - 334.
5. W. Leopold, H. Kuchling, C. P. Berger Technische Formeen // Leipzig.: Fachbuch Verlag, 1969. S. 28.
6. Bulletin officiel de la propriete industrielle. Repassage confection multipresse. Societe anonyme dite: P. Lemaire Se CIE, rep. par. Bugnion International France S.A. # 2.240.976, D06F 73/00, 13, 1973
7. Die beliebte Sacco – Matic, Hoffman maschinen GMBH Koln.: Mulheim, 1974. 48 p.
8. А.А. Черепенько. Разработка эффективного способа окончательной ВТО мужского пиджака. / Черепенько А. А., Черепенько А. П. Стебакова Т. Г. // Швейная промышленность № 3. М.: 2005г.









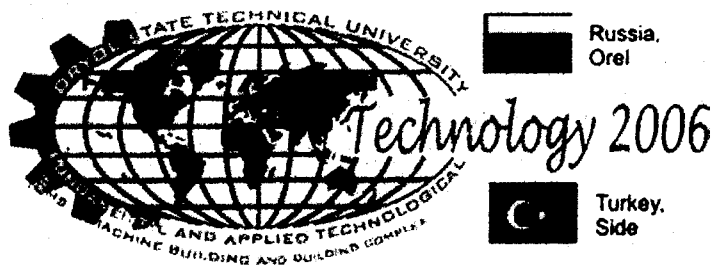


Russia,  
Orel



Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ



УДК 621.9

## УСЛОВИЕ ВЫБОРА РАЗМЕРНОСТИ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ФРУО

Е.Н. Бологов, А.В. Киричек, д.т.н., проф., Н.Н. Самойлов, доц.,  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862) 555524, e-mail: ebologov@yandex.ru

## CONDITION OF THE CHOICE OF WORD LENGTH OF THE DECISION OF THE THERMAL PROBLEM AT FRICTIONAL STRENGTHENING PROCESSING

E.N. Bologov, A.V. Kirichek, Prof., Dr, N.N. Samoilov, Docent,  
Oryol State Technical University  
Oryol, tel. (4862) 555524, e-mail: ebologov@yandex.ru

*In clause the condition of transition in the decision of a thermal problem from three-dimensional to bidimensional is considered at frictional strengthening processing.*

В процессе фрикционно-упрочняющей обработки (ФРУО) происходит поверхностная закалка обрабатываемой детали. Глубина и степень поверхностной закалки зависят от распространения тепловых полей в поверхностном слое детали, которые в свою очередь зависят от технологических режимов обработки. При разработке технологии фрикционно-упрочняющей обработки требуется проведение большого объема теоретических и экспериментальных исследований.

Известно, что существующие экспериментальные методы не позволяют точно определить истинную температуру в зоне контакта трущихся тел. Еще более сложно это сделать при фрикционной обработке. Изучением тепловых явлений при трении занимались Бабея Ю.И., Серегин С.А., Островская Е.Л., Гурей В.М.. Однако в силу сложности физико-механических процессов, происходящих на скользящем контакте, тепловая задача в той или иной степени ими упрощалась. Вследствие принимаемых допущений данные теоретических исследований существенно отличались от практических результатов.

Решение тепловой задачи начинается с выбора ее размерности. Задача должна полностью отображать процессы, происходящие в пятне контакта инструмента с обрабатываемой деталью. Поэтому при решении тепловой задачи важно производить обоснованные упрощения, которые существенно не повлияют на ход решения и точность расчетов.

Процесс обработки тел вращения диском трения можно представить рядом последовательно возникающих тепловых вспышек от источников тепла. Размер источника тепла равен площади пятна контакта инструмента с обрабатываемой деталью. Движение источника тепла происходит по винтовой линии. Тогда, если время жизни тепловой вспышки от источника тепла  $t_{ж}$  заканчивается при его перемещении на один оборот детали  $t_{1об}$ , то в решении тепловой задачи можно пренебречь интегрированием по длине втулки, т.е. решение трехмерной задачи сводится к двумерной. Должно выполняться условие:

$$t_{ж} \leq t_{1об}, \quad (1)$$

где  $t_{ж}$  - время жизни тепловой вспышки от источника тепла, с;

$t_{1об}$  - время на один оборот детали, с.

Для определения  $t_{ж}$  необходимо решить двумерную тепловую задачу, из условия  $T(r_0, \varphi, t_{ж}) = 20^{\circ}\text{C}$ . Рисуем схематично процесс обработки. Решение задачи рассматривается в полярной системе координат.

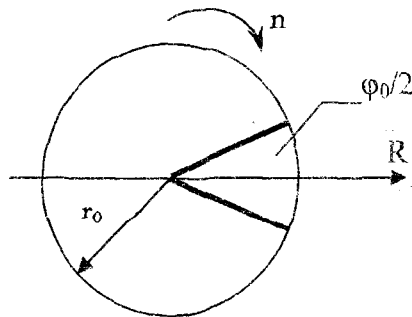


Рис. 1. Схема обработки детали диском трения

Для решения задачи делаем ряд допущений, позволяющих упростить решение задачи, но не сказывающихся на точности решения.

Тепловой контакт втулки с диском считается идеальным, т.е. не рассматриваются возможные нарушения однородности контакта: дефекты на поверхности втулки и диска, частицы пыли, продукты реакции материала втулки с диском трения, смазывающей жидкости и атмосферы.

Теплофизические характеристики материалов диска и втулки с оправкой считаются постоянными, т.е. их зависимость от температуры не учитывается.

Тепловой поток в начальный момент времени поступает во втулку мгновенно, контакт с инструментом сохраняется, а тепловой поток убывает со скоростью  $e^{-\frac{t}{t_N}}$ , где  $t_N$  - время действия тепловой вспышки.

$$t_N = \frac{l}{v_d}, \quad (2)$$

где  $l$  - длина формы размера пятна контакта в направлении перемещения, м;

$v_{\partial}$  - скорость вращения детали, м/с.

При решении задачи принимаем  $e^{\frac{-t}{2i_N}} = e^{-kt}$ .

Для построения решения данной теплофизической задачи решаем дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T(\rho, \varphi, t)}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial T(\rho, \varphi, t)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 T(\rho, \varphi, t)}{\partial \varphi^2} \quad (3)$$

начальные условия:  $T(r_0, 0, 0) = 20^{\circ}\text{C}$ , граничные условия:  $T(0, 0, \infty) = 0$

$$q(r_0, 0, t) = \frac{N}{S} H(\varphi_0) e^{-kt},$$

где  $S$  – площадь пятна контакта,  $\text{м}^2$ ;

$N$  – мощность теплового потока, возникающая при обработке детали диском трения, Вт.

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=2\pi}$$

Общее решение уравнения (1) в нашем случае имеет вид:

$$T(\rho, \varphi, t) = e^{\frac{-t}{2i_N}} * J_m(\alpha\rho) * \sum_{m=0}^{\infty} \frac{N * \varphi_0 * \sin m\varphi}{\lambda S \pi \left( -J_{m+1}(\alpha\rho_0) + \frac{m}{\alpha\rho_0} J_m(\alpha\rho_0) \right)} \cos m\varphi. \quad (4)$$

$$\text{Отсюда, } t = \ln \left( \frac{T(\rho, \varphi, t)}{J_m(\alpha\rho) * \sum_{m=0}^{\infty} \frac{N * \varphi_0 * \sin m\varphi}{\lambda S \pi \left( -J_{m+1}(\alpha\rho_0) + \frac{m}{\alpha\rho_0} J_m(\alpha\rho_0) \right)} \cos m\varphi} \right)^{-2i_N} \quad (5)$$

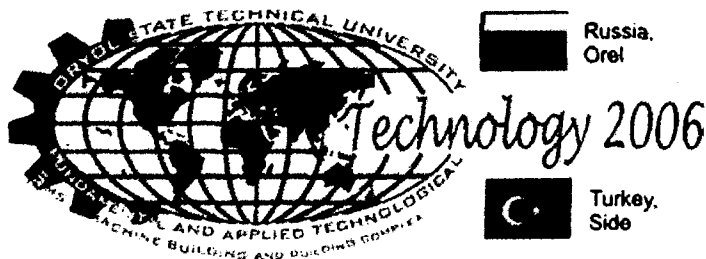
Решая уравнение (5) из условия  $T(r_0, \varphi, t_{\text{ж}}) = 20^{\circ}\text{C}$  и подставляя полученные данные в условие (1) определяем размерность задачи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики. А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. Издание четвертое, исправленное. Учебное пособие для университетов. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1972 г.

2. Серегин С.А. Физико-технические основы и практика обработки металлов трением: Дис. д-ра техн. наук: 05.02.04. Новокузнецк, 1994. 365с.:ил. Библиография.: С. 339-365.

3. Островская Е.Л. Оптимизация эксплуатационных характеристик стали для узлов трения в вакууме на основе фрикционного упрочнения поверхностного слоя. Дис. канд. техн. наук: 05.02.01. Утв. 21.07.82. Харьков. 1981. 219 л., ил.



УДК 621.9.011:621.787.4:620.178.3

## НАСЛЕДСТВЕННАЯ МЕХАНИКА СТАДИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н. проф.  
Кузбасский государственный технический университет  
Кемерово, тел. (8-3842)-583240, факс (8-3842)-583525  
E-mail: blumenstein@rambler.ru

## INHERITANCE MECHANICS OF A CYCLIC CRACK RESISTANCE STAGE

V.J. Blyumenshtein, Doctor of Science, professor  
Kuzbass State Technical University  
Kemerovo, ph. (8-3842)-583240, fax (8-3842)-583525  
E-mail: blumenstein@rambler.ru

*The basics of the cyclic crack resistance mechanics of strengthened details and the research results obtained are given. It is shown that the loading history influences greatly the development process of fatigue defects.*

Учет технологического наследования (ТН) при проектировании маршрута упрочняющей механической обработки и оценке долговечности деталей предполагает раскрытие и использование функциональных связей параметров состояния поверхностного слоя с параметрами эксплуатации, что требует выполнения анализа процесса формирования этого состояния на всех стадиях жизненного цикла детали.

В рамках данной работы положения механики ТН рассматриваются на примере ЖЦ детали на стадиях резания, поверхностного пластического деформирования и эксплуатационного нагружения в условиях приложения циклических нагрузок. Ключевой особенностью является использование представлений о непрерывности процессов накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности в поверхностном слое деталей машин при механической обработке и последующей эксплуатации. Каждая операция механи-

ческой обработки или эксплуатации выделяется как стадия нагружения; стадии нагружения выделяются по признакам завершенности программ нагружения и описываются в категориях феноменологии накопления повреждений и разрушения в очаге деформации. Стадии нагружения разбиваются на ряд этапов квазимонотонной деформации, которые определяют закономерности накопления и залечивания дефектов в поверхностном слое детали.

Усталостное (эксплуатационное) нагружение представляется в виде двух стадий, первая из которых начинается с приложения циклических нагрузок и заканчивается моментом полного исчерпания запаса пластичности и появлением видимых дефектов (стадия циклической долговечности-ЦД). Вторая стадия усталостного нагружения начинается с момента нарушения сплошности материалом поверхностного слоя, заканчивается полным разрушением (разделением на части) детали и описывается диаграммой циклической трещиностойкости (стадия циклической трещиностойкости-ЦТ).

При решении задач механики в качестве исходных характеристик металла используется кривая упрочнения  $\sigma_s = \sigma_s(\Lambda)$ , кривая предельной пластичности  $\Lambda_p = \Lambda_p(\Pi)$  и диаграмма циклической трещиностойкости  $V = V(K)$  в координатах «коэффициент интенсивности напряжений  $K$  – скорость роста усталостной трещины  $V$ ».

Внедрение и перемещение инструмента на стадии резания приводит к возникновению очага деформации, в котором происходит течение металла, приводящее к накоплению деформаций  $\Lambda_{рез}$ , исчерпанию запаса пластичности  $\Psi_{рез}$  и формированию поверхностного слоя. Последующее нагружение на стадии ППД приводит к возникновению очага деформации, зависящего от истории нагружения, и означает продолжение деформационных процессов. Следствием этого является формирование поверхностного слоя с накопленной за две стадии деформацией ( $\Lambda_{рез} + \Lambda_{ППД}$ ) и исчерпанным запасом пластичности ( $\Psi_{рез} + \Psi_{ППД}$ ). Тензор остаточных напряжений сформирован также с учетом истории нагружения. В процессе циклического нагружения накопление деформаций продолжается до предельного уровня  $\Lambda_p$ , которому соответствует степень исчерпания запаса пластичности  $\Psi = 1$ . Этому моменту соответствует зарождение начальной трещины и окончание стадии циклической долговечности.

Использование феноменологических представлений позволяет, не только на качественном, но и количественном уровне описать продолжающееся накопление дефектов, рост трещины и разрушение детали на стадии циклической трещиностойкости (рис. 1).

По окончании стадий механической обработки СИЗП составила  $\Psi_{мех}$ , а глубина распределения этого показателя по глубине –  $h_{мех}$ . На стадии циклической долговечности в точке вероятного разрушения на глубине  $h_{тр}$  произошло полное исчерпание запаса пластичности ( $\Psi_{ЦД} = 1$ ). Этому состоянию соответствует несплошность в виде эллиптической трещины, размеры



которой в начальном состоянии составляют  $b_{тр0} = 0,02...0,2$  мм. По контуру трещины накопленная деформация соответствует предельной, а степень исчерпания запаса пластичности  $\Psi_{ЦД} = 1$ . На стадии циклической трещиностойкости продолжается накопление дефектов, которое происходит как по направлению к поверхности, так и в глубину поверхностного слоя. В вершинах трещины располагаются области 1 и 2, в которых материал находится в состоянии пластического течения. В этих областях (очагах пластической деформации) напряженное состояние определяется тензором действующих усталостных напряжений и напряжениями от возникшего концентратора – трещины.

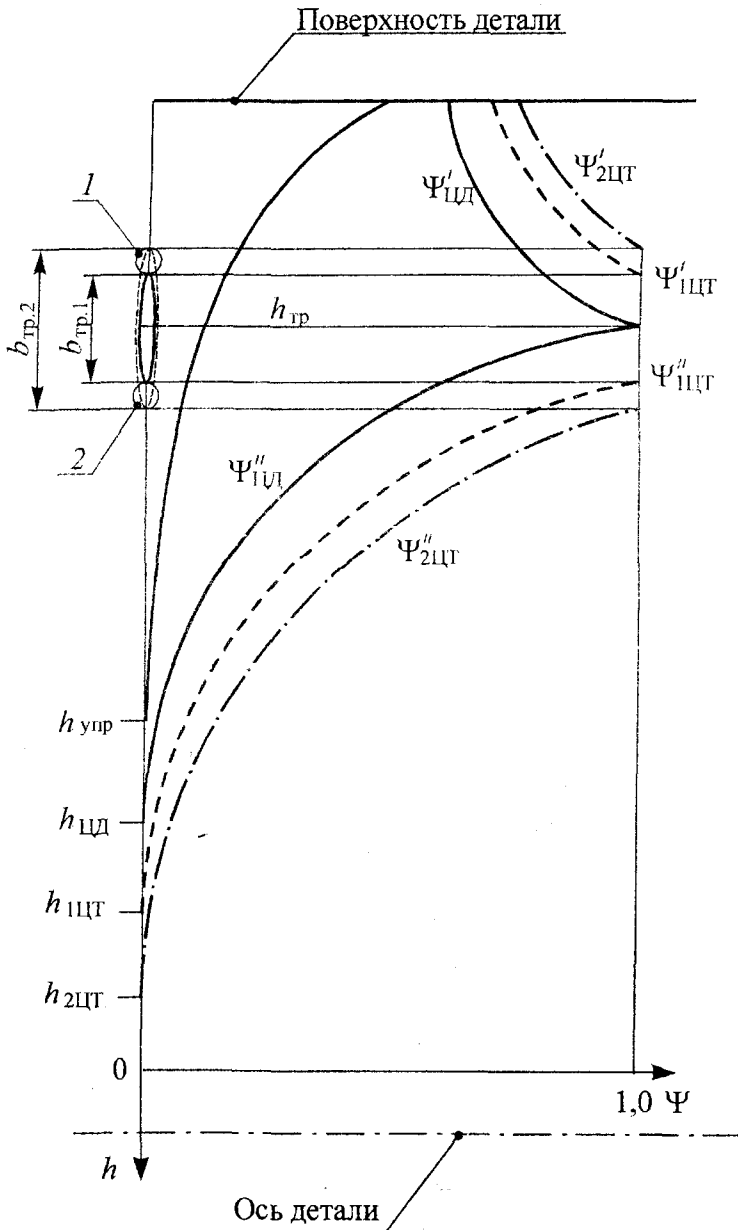


Рис. 1. Схема исчерпания запаса пластичности на стадии циклической трещиностойкости

На больших расстояниях от вершины трещины напряженное состояние описывается коэффициентом интенсивности напряжений, тензор напряжен-

ного состояния трансформируется в каждом цикле нагружения, а наиболее «жесткая» схема имеет место в устье трещины.

По мере накопления дефектов в некоторый момент времени размер трещины составит  $b_{тр_1}$ , а исчерпание запаса пластичности составит: к поверхности –  $\Psi'_{ЦТ}$ , в глубину поверхностного слоя  $h_{ЦТ} - \Psi''_{ЦТ}$ . По истечении некоторого числа циклов в очагах деформации 1 и 2 произойдет новое частичное исчерпание запаса пластичности, нарушится сплошность материала и размер трещины увеличится на некоторую величину  $\Delta b_{тр}$  до размера  $b_{тр_2} = b_{тр_1} + \Delta b_{тр}$ . Произойдет накопление дефектов и в других слоях материала, что приведет к смещению эпюр исчерпания запаса пластичности до положений  $\Psi'_{2ЦТ}$  и  $\Psi''_{2ЦТ}$  и накоплению поврежденности до глубины  $h_{2ЦТ}$ .

Можно говорить о том, что очаги пластической деформации в устье трещины работают в условиях стадии циклической трещиностойкости, а остальные слои материала накапливают деформацию в соответствии с закономерностями стадии циклической долговечности.

Исчерпание запаса пластичности является непрерывным, приводя к нарушению сплошности в новых слоях материала и росту первоначальных размеров трещины. По мере увеличения размеров дефекта происходит «ужесточение» напряженного состояния и увеличение скорости исчерпания запаса пластичности. В конечном итоге, это приводит к увеличению скорости роста трещины и разрушению детали по всему сечению (разделению на части). Поэтому решением для этой стадии нагружения образца с усталостной трещиной является использование описания в категориях S-образной кривой или диаграммы циклической трещиностойкости (ДЦТ).

Установлено, что история нагружения оказывает существенное влияние на процесс развития дефектов на стадии циклической трещиностойкости. Основой механики технологического наследования на этой стадии являются следующие положения.

1. Параметры трещины (длина  $l_{тр}$  и глубина  $b_{тр}$ ), координаты расположения и число циклов до ее появления зависят от наследуемого механического состояния детали.
2. Коэффициенты интенсивности напряжений ДЦТ и соответствующие им скорости роста трещины зависят от истории нагружения (механической обработки), истории усталостного нагружения до момента зарождения трещины и условий усталостного нагружения на данном этапе.
3. Технологическое наследование может быть описано уравнениями, связывающими указанные параметры с феноменологическими параметрами стадий механической обработки и циклической долговечности:

$$\begin{cases} b_{тр}, l_{тр}, h_{тр}, N_{ЦТ} = f_1(\Psi_{мех}, h_{мех}); \\ b_{тр}, l_{тр}, h_{тр}, N_{ЦТ} = f_2(\Psi'_{ЦТ}, \Psi''_{ЦТ}, b_{тр_0}, h_{ЦТ}), \end{cases}$$

где  $N_{ЦТ}$  - продолжительность стадии циклической трещиностойкости.

Усталостные испытания образцов семи выборок, обработанных с разными программами резания и последующего ППД, показали, что с повышением уровня наследуемых свойств поверхностного слоя, выражающемся в больших величинах  $\Lambda$  и  $\Psi$ , предел выносливости повышается, размер трещин уменьшается, а коэффициент интенсивности напряжений уменьшается (рис. 2). Иными словами, в более прочном материале трещина стартует с меньшего значения  $K_{th}$ .

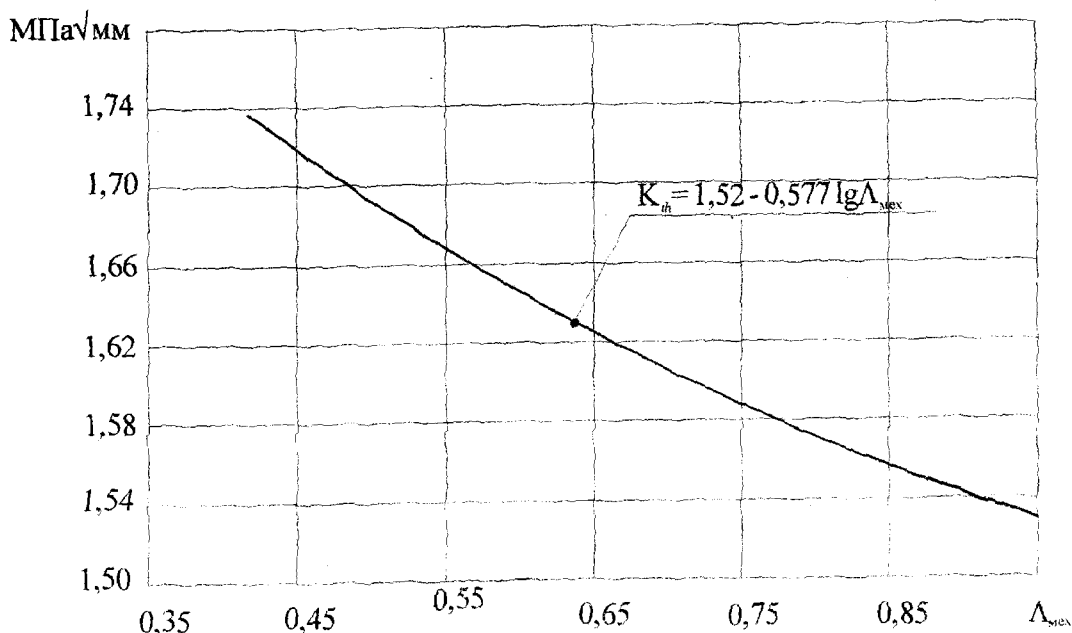
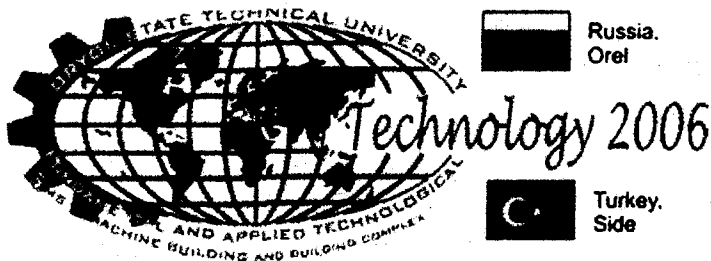


Рис. 2. Зависимость порогового коэффициента интенсивности напряжений от степени деформации сдвига, накопленной на операциях механической обработки резанием и ППД

Исчерпание запаса пластичности до определенного предела полезно с точки зрения увеличения циклической долговечности. В то же время это приводит к обратному эффекту на стадии циклической трещиностойкости, увеличивая скорость роста трещин и сокращая продолжительность этой стадии. Установлено, для каждого материала и каждой программы нагружения существует определенный уровень степени исчерпания запаса пластичности, начиная с которого происходит повышение интенсивности скорости роста трещин. Обработка ППД по оптимальному режиму снижает скорость роста трещин в сравнении с образцами из закаленной стали в 3-48 раз. В то же время чрезмерное упрочнение образцов приводит к увеличению скорости роста трещин до 50 раз в сравнении с образцами из закаленной стали. Механическое упрочнение методом ППД до уровня  $\Lambda_{мех} \approx 0,53 - 0,59$  предпочтительнее с позиций обеспечения циклической трещиностойкости, т.к. приводит к существенному снижению скорости роста трещин.



УДК 621.78

## ВОЛНОВОЕ ИМПУЛЬСНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ УПРОЧНЕНИИ

А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.В. Поляков,  
Голенцова А.В., Гончаров А.В.

Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. (4862) 555524, fax (4862) 555524, E-mail:avk@ostu.ru

Муромский институт (филиал)

Владимирского государственного университета  
murstin@yandex.ru

## WAVE PULSE НАГРУЖЕНИЕ AT DEFORMATION HARDENING

A. V. Kirichek, Prof., Dr., D. L. Soloviev, Dr., A. V. Poliakov,  
A. V. Golentsova, A. V. Goncharov  
Oryol State Technical University

Oryol, тел. (4862) 555524, fax (4862) 555524, E-mail:avk@ostu.ru

Vladimir State University murstin@yandex.ru

*For expansion of technological opportunities of superficial plastic deformation (SPD) the new way – static and pulse processing (SPP) is offered. Feature SPP is the opportunity of regulation of the energy spent for plastic deformation, due to change of the form of the shock pulses brought in the center of deformation. As a result of use SPP the riveted superficial layer up to 10 mm can be received.*

В современном машиностроении существует проблема преждевременного выхода из строя деталей машин. Потеря их работоспособности обычно связана с разрушением поверхностного слоя. Поэтому все более актуальной становится необходимость в применении способов поверхностного упрочнения.

Одними из наиболее простых и эффективных способов упрочнения являются способы поверхностного пластического деформирования (ППД), среди которых широкое распространение получили: обработка дробью, выглаживание, обкатывание, обеспечивающие глубину наклепанного слоя не более 1,5...2 мм [1]. Однако эффективность использования ППД часто связана именно с возможностью создания большой глубины упрочнения. Например, при высоких контактных нагрузках низкая твердость сердцевины может привести к сильной деформации и разрушению упрочненного слоя с малой глубиной. Для тяжелонагруженных деталей машин, испытывающих большие усталостные нагрузки, опасная точка в поверхностном слое, где может произойти зарождение усталостной трещины, может находиться на значительной глубине (более 3...5 мм), поэтому для повышения усталостной прочности таких деталей необходима глубина упрочнения больше 3...5 мм.

На основании анализа способов ППД установлено, что для получения большой глубины упрочнения динамическое воздействие энергетически более выгодно по сравнению со статическим. Однако существенным недостатком ударных способов ППД является то что динамическая энергия, расходуемая на пластическую деформацию, может быть каждый раз разной. Это связано с тем, что с увеличением скорости нагружения уменьшается время протекания пластической деформации, поэтому ее величина будет зависеть не только от силы удара, т. е. амплитуды ударного импульса, но и от его длительности. Следовательно для наиболее полного использования динамической нагрузки необходимо, чтобы она характеризовалась ударными импульсами прямоугольной или близкой к ней пролонгированной формой.

Проведенные исследования ударных процессов [2, 3] доказали возможность управления формой ударных импульсов за счет геометрических и акустических параметров используемой ударной системы (рис. 1). Установлено, что наиболее эффективным является использование ударной системы с промежуточным звеном – волноводом. Такая ударная система позволяет генерировать пролонгированные ударные импульсы, за счет отраженных волн деформации, формирующихся в виде хвостовой части импульса. До настоящего времени волновое импульсное нагружение при поверхностном пластическом деформировании не использовалось. Непременным условием для реализации пролонгированного ударного импульса является неразрывный контакт инструмента с очагом деформации, осуществляемый предварительным статическим поджатием, т.е. условие статико-импульсного нагружения.

В результате разработан способ статико-импульсной обработки (СИО), позволяющий регулировать энергию, расходуемую на пластическую деформацию за счет изменения формы ударного импульса в очаге деформации, тем самым значительно расширяя возможности поверхностного деформирования при создании упрочненного слоя. Регулирование формы ударного импульса при СИО осуществляется за счет изменения геометрических и акустических параметров ударной системы боек-волновод, а также формы и размеров инструмента.

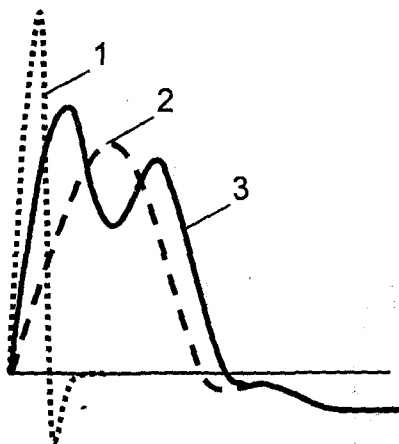


Рис. 1. Форма ударного импульса в зависимости от использования ударной системы:

$P_u$  – импульсная нагрузка,  $P_{ст}$  – статическая нагрузка,

$L_1, L_2$  – длина бойка и волновода, соответственно,  $d_1, d_2$  – диаметр поперечного сечения бойка и волновода, соответственно

Подвод энергии удара в ОД	ударом инструмента		ударом бойка по волноводу
Инструмент	шар	боек	торец волновода
Схема способа			
Номер кривой	1	2	3

Для создания импульсов прямоугольной формы необходимо использовать боек и волновод имеющие гладкую цилиндрическую форму. Поэтому акустическая жесткость бойка и волновода, при условии, что они изготовлены из одного материала (обычно это сталь), будет характеризоваться площадями их поперечных сечений. Кривизна и размеры соприкасающихся поверхностей инструмента и детали, а также свойства нагружаемого материала могут быть выражены через коэффициент сопротивления материалу внедрению инструмента  $k$  [3].

Проведены теоретические и экспериментальные исследования, устанавливающие влияние длин и площадей поперечных сечений бойка и волновода, а также коэффициента сопротивления внедрению на возможность нагружения пролонгированными ударными импульсами за счет использования хвостовой части. Установлено, что при постоянном значении соотношения площадей поперечных сечений бойка и волновода, и с увеличением соотношения их длин, амплитуда головной и хвостовой части импульса возрастают, причем хвостовой в большей степени. При постоянном соотношении длин бойка и волновода и увеличении соотношения их площадей поперечных сечений максимальная амплитуда головной части импульса уменьшается, а хвостовой увеличивается. При этом длина бойка должна быть не менее 0,07...0,12 м, а диаметр не менее 20 мм, соотношение длины волновода к его диаметру не менее 3. Изменяя, таким образом параметры ударной системы может быть выбрана форма хвостовой части ударного импульса, позволяющая участвовать ей в упругопластической деформации. В результате, анализа количества энергии, расходуемой на упругопластическую деформацию при различных соотношениях длин и диаметров бойка и волновода (рис. 2) установлено, что для получения пролонгированного ударного импульса соотно-

шение длин бойка и волновода должно находиться в диапазоне от 3 до 5, а соотношение площадей поперечных сечений в диапазоне от 1 до 3.

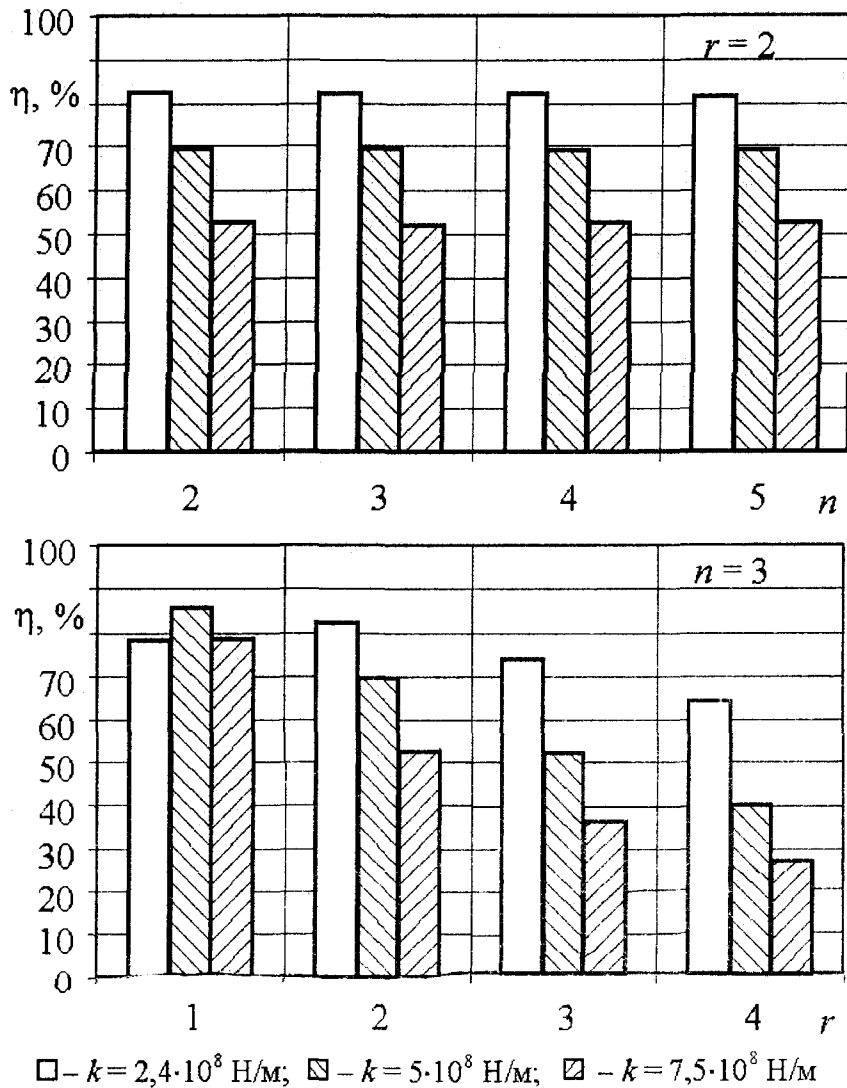


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи энергии нагружаемой поверхности  $\eta$  от соотношения длин  $n$  и акустических жесткостей  $r$  бойка и волновода, при различных коэффициентах сопротивления внедрению  $k$  при статико-импульсном нагружении. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено влияние формы и размеров инструмента на искажения формы ударного импульса. Установлено, что более значимое влияние на форму импульса оказывает форма инструмента, а менее значимое – размеры деформирующей поверхности. Форма инструмента, способствующая локализации контакта с нагружаемой поверхностью, приводит к существенным искажениям формы импульса, у которого увеличиваются передний и задний фронт и снижается амплитуда.

В зависимости от величины динамической составляющей нагрузки осуществлен расчет статической составляющей, который проводился из условия обеспечения неразрывного контакта инструмента с нагружаемой поверхностью в процессе всего статико-импульсного нагружения. В результате установлено, что для этого статическая нагрузка должна исчерпывать чисто

упругую деформацию, позволяя обеспечивать достаточно жесткий контакт инструмента с нагружаемым материалом перед ударом, следовательно ее величина должна быть не менее 0,1 динамической. Таким образом, основное деформирующее воздействие будет осуществлять динамическая составляющая нагрузки, а статическая будет способствовать ее максимальной реализации.

Для осуществления статико-импульсной обработки изготовлен опытный образец конструкции генератора импульсов, обеспечивающий максимальную энергию ударных импульсов 300 Дж в диапазоне частот 10...15 Гц, и максимальную частоту импульсов 40 Гц, при энергии ударов до 200 Дж. Изготовлена полноразмерная установка, использующая генератор импульсов для упрочнения статико-импульсной обработкой наружных и внутренних поверхностей. Технические характеристики установки позволяют ее применять для обработки как небольших, так и крупногабаритных деталей.

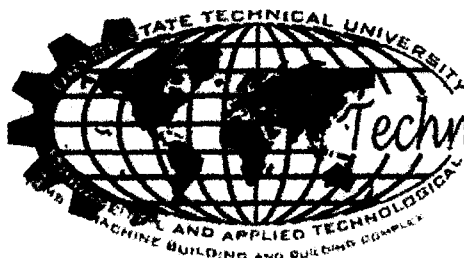
Проведены исследования, устанавливающие технологические возможности статико-импульсной обработки. Так может быть получен наклепанный поверхностный слой с большой глубиной до 10 мм и большой степенью упрочнения до 150 %; с большой степенью упрочнения, малой глубиной и низкой шероховатостью упрочненной поверхности до  $R_a = 0,1$  мкм. Может быть получен поверхностный слой как равномерно упрочненный, так и с гетерогенной структурой, чередующей твердые и мягкие составляющие [2,].

Получен ряд технологических маршрутов упрочнения с использованием операции СИО для повышения эксплуатационных свойств деталей машин. Установлена целесообразность использования СИО для упрочнения поверхности катания сердечников крестовины стрелочных переводов, галтелей крупных валов, валков прокатных станов, ножей и зубьев исполнительных органов строительно-дорожных машин, крупной резьбы, шлицев и зубчатых колес; формообразования резьбы и шлицев. Возможно использование СИО для снятия внутренних напряжений в сварных конструкциях и литых заготовках, местного восстановления размеров изношенной детали и т.д. Результаты СИО могут найти применение на железнодорожном транспорте, заводах тяжелого машиностроения, в метрополитене и т.д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справ. – М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
3. Механика нагружения поверхности волной деформации. А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. М.: Машиностроение-1, 2005. 149 с.





Technology 2006

УДК 621.891

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СО СВЕРХТВЕРДЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.А. Кречетов, к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет  
650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

## TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF OPERATIONAL PROPERTIES OF DETAILS OF MACHINES WITH SUPERFIRM COVERINGS

A.A. Krechetov, d.ph.

Kuzbass State Technical University  
650026, Kemerovo, Vesennyaya str., 28

*In the article the approach to maintenance of operational properties of details of machines with superfirmer coverings on the basis of principles of mechanics of technological inheritance is considered.*

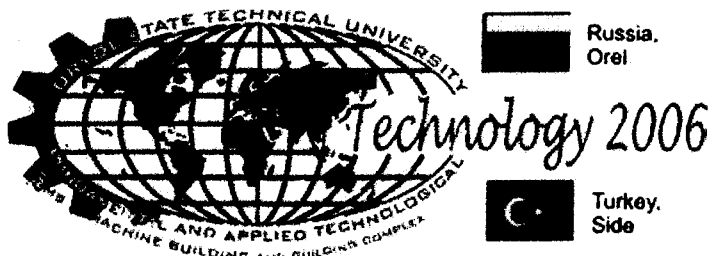
В соответствии с основными положениями механики технологического наследования эксплуатационные свойства деталей машин определяются закономерностями формирования и трансформации состояния поверхностного слоя на стадиях резания, поверхностного пластического деформирования и эксплуатационного усталостного нагружения. Полученные в рамках этого подхода результаты позволили разработать методики проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства деталей машин.

Однако технологические методы, для которых разрабатывался аппарат механики технологического наследования, такие как резание и ППД, имеют ряд известных ограничений. Необходимость использования других методов упрочнения, таких как нанесение сверхтвердых покрытий, требует развития механики технологического наследования.

Известно, что состояние поверхностного слоя изделия перед нанесением покрытия методом микродугового оксидирования оказывает существенное влияние на закономерности формирования покрытия. Повышается твердость, износостойкость покрытия, уменьшается изменение размера заготовки в связи с тем, что после обработки ППД покрытие увеличивается в глубину поверхностного слоя.

Улучшение качества покрытий связывают с изменениями механического состояния поверхностного слоя после ППД: уменьшается шероховатость поверхности, формируются остаточные напряжения сжатия, за счет увеличения числа дислокаций на поверхности изделия физико-химические закономерности процесса нанесения покрытия интенсифицируются.

Однако до настоящего времени закономерности накопления поврежденности материала поверхностного слоя с покрытием на стадиях эксплуатационного нагружения не исследованы. Раскрытие этих закономерностей в сочетании с использованием наследственных представлений позволит разработать методики проектирования технологических процессов нанесения покрытий, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства деталей машин.



УДК 621.78

## ПОВЕРХНОСТНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НЕПОЛНОЙ СФЕРЫ ИМПУЛЬСНЫМ УДАРНЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Ю.С. Степанов, д.т.н., проф., Н.Н. Самойлов, доц., А.А. Катунин, асп.  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел.(4862) 419877, факс (4862) 555524, E-mail: [kat@ostu.ru](mailto:kat@ostu.ru)

## PLASTIC SURFACE DEFORMATION OF A SPHERE PART BY THE EXTERNAL TOOL

Y.S. Stepanov, Prof., Dr., N.N. Samoylov, A.A. Katunin  
Oryol State Technical University  
Russia, Oryol, tel. (4862) 419877, fax (4862) 555524, E-mail: [kat@ostu.ru](mailto:kat@ostu.ru)

*Plastic surface deformation of a portion of a sphere using external forming tool is described in the article. The proposed technique allows high quality parameters of the surface to be formed, which can considerably improve its exploitation features.*

Для чистовой обработки неполных сферических поверхностей применяют способы поверхностного пластического деформирования (ППД), реализуемые вращающимися инструментами (накатниками) с деформирующими элементами в виде шариков или роликов [1].

Характерным недостатком таких способов обработки является, так называемое «переобкатывание» в полюсной части сферы, в результате которого происходит излишнее деформирование, увеличение высоты микронеровностей, отслаивание упрочненного поверхностного слоя и появление большого количества бракованных деталей.

Авторами была предпринята попытка расширить технологические возможности ППД неполных сферических поверхностей путем сообщения накатнику дополнительного планетарного вращения, обеспечивающее импульсно-ударное воздействие на заготовку. При этом процесс формообразования неполной сферы можно представить как движение образующей линии окружности, описанной деформирующими элементами, плоскость которых смещена относительно центра сферы, по направляющей линии – окружности,

полученной за счет вращения обрабатываемой заготовки. В этом случае точность формообразования сферы определяется не профилем инструмента, а точностью траектории этих движений, т. е. кинематикой процесса, что позволяет получить сферические поверхности высокой точности.

Для поверхностного импульсно-ударного деформирования предварительно обработанной сферической поверхности заготовки 1 (рисунок 1), её закрепляют в приспособлении 2 и сообщают вращательное движение  $V_3$  вокруг собственной оси, а накатнику 3 – планетарное вращение  $V_H$  относительно оси проходящей через центр сферы, высокоскоростное вращение  $V_K$  относительно собственной оси, а также поперечную  $S_{\text{поп}}$  и продольную  $S_{\text{пр}}$  подачи (последние используют при настройке).

Накатник 3 представляет собой корпус в виде кольца 4, на внутренней поверхности которой на беговой дорожке расположены деформирующие элементы 5 (шарики); внутренний радиус кольца – по вершинам деформирующих элементов равен  $R_K$ . От индивидуального электродвигателя или редуктора (не показаны) кольцу 4 сообщают высокоскоростное вращательное движение  $V_K$  относительно собственной оси  $O_K-O_K$ . Общий вид накатника представлен на рисунке 2.

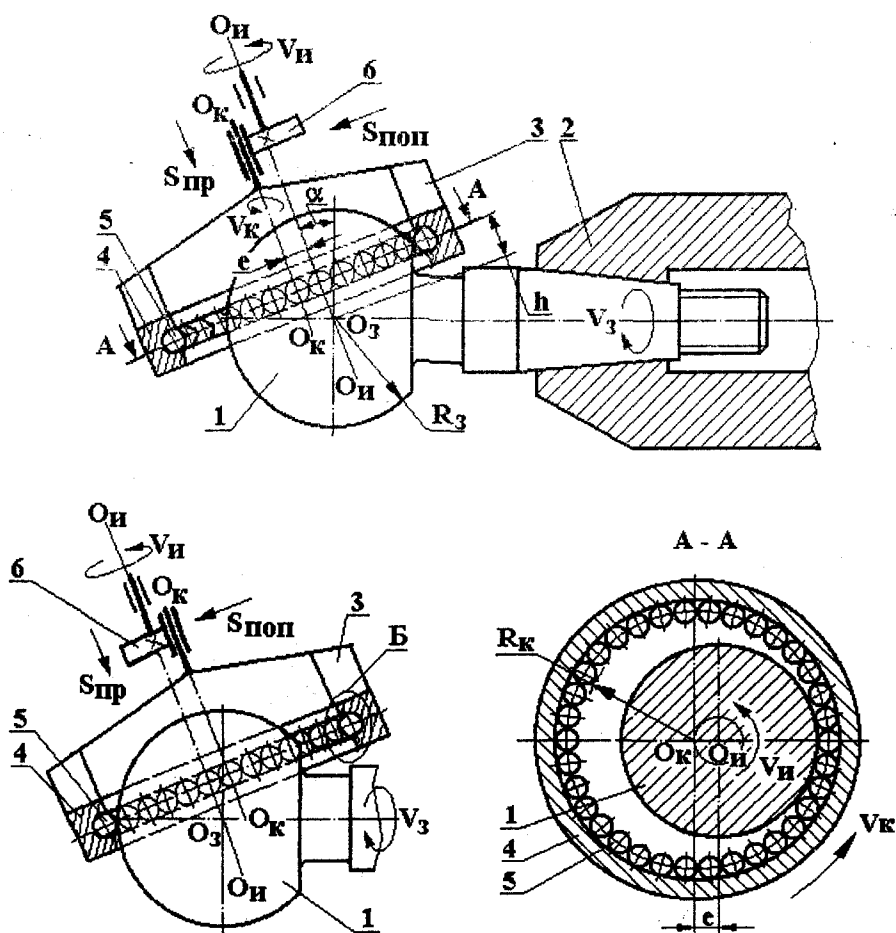


Рисунок 1 - Схема обработки сферической поверхности импульсно-ударным деформированием

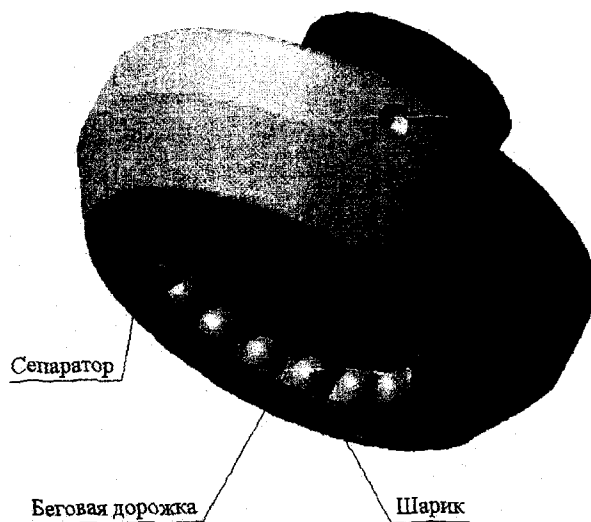


Рисунок 2 - Общий вид накатника

Кольцо 4 с деформирующими элементами 5 охватывает обрабатываемую сферическую поверхность заготовки 1 и благодаря сообщению инструменту 3 планетарного движения обкатывания  $V_n$  обеспечивается импульсно-ударное воздействие на сферу и перемещение контакта деформирующих элементов 5 с заготовкой 1 по окружности. Для осуществления планетарного движения обкатывания  $V_n$  использован кривошип 6, с помощью которого ось  $O_k-O_k$  кольца 4 с деформирующими элементами 5 и ось вращения инструмента  $O_n-O_n$ , проходящей через центр сферы  $O_s$  заготовки, параллельны и разнесены на величину эксцентриситета  $e$ , определяемую по формуле:

$$e = R_k - h / \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $e$  – величина смещения оси  $O_n-O_n$  вращения инструмента относительно оси  $O_k-O_k$  вращения кольца, мм;

$R_k$  – внутренний радиус кольца по вершинам деформирующих элементов, мм;

$h$  – величина смещения плоскости вращения деформирующих элементов относительно центра обрабатываемой сферической поверхности, которая зависит от конструктивных размеров заготовки, мм;

$\alpha$  – угол наклона инструмента к плоскости, перпендикулярной продольной оси заготовки и проходящей через центр сферы, град.

Так как обработке подвергается неполная сферическая поверхность, то ось деформирующего инструмента 3 устанавливается под углом  $\alpha$  к плоскости, перпендикулярной оси вращения заготовки 1 и проходящей через центр сферы  $O_s$ , при этом угол  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arc} \sin (h/R_s),$$

где  $R_s$  – радиус сферы обрабатываемой заготовки, мм;

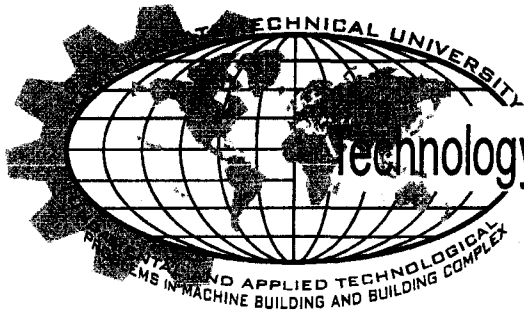
Твердость поверхностного слоя, глубина наклепа и шероховатость поверхности зависят от силы и числа ударов, приходящихся на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности. Эти параметры, в свою очередь, зависят от окружной скорости кольца, размера шариков, их числа в кольце, частоты вращения, величины круговой

подачи заготовки и числа проходов.

Способ импульсно-ударного деформирования позволяет создать на обрабатываемой сферической поверхности регулярный микрорельеф, способный удерживать смазывающие материалы и продлевать ресурс работы деталей (шаровых пальцев и др.) при эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

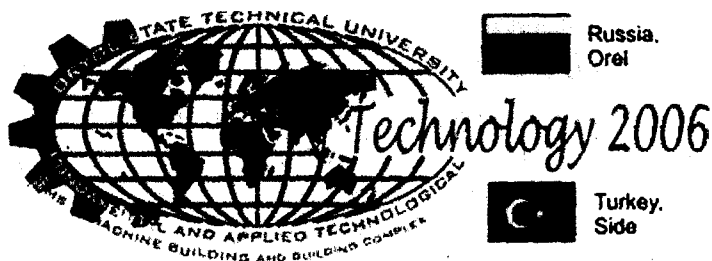
1. Патент РФ 2 031 770, МКП В 24 В 39/04, 39/00. Способ обработки неполных сферических поверхностей деталей поверхностным деформированием. Гаврилин А. М., Самойлов Н. Н. 5045958/27; 14.04.92; 27.03.95. Бюл. № 9.



 Russia,  
Orel

 Turkey,  
Side

# ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ



УДК 664.002.5

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ (ГАЕК И БОЛТОВ)

Н.В.Земляков, к.т.н., доцент  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. и fax(4862)551187, E-mail: mapp@ostu.ru

## NEW TECHNOLOGIES OF LATCHING OF CARVING CONNECTIONS (NUTS AND BOLTS)

N.V. Zemljakov, prof., the senior lecturer  
The Oryol state technical university  
Eagle, ph. and fax (4862) 551187, E-mail:mapp@ostu.ru

*Mechanical memory in a lock element.*

Наибольшее распространение в технике резьбового стопорения при креплении деталей и узлов, как в оборудовании для пищевого машиностроения, так и в общетехническом машиностроении получили такие основные технические решения, как:

- затяжка контргайки поверх крепежной гайки;
- затяжка крепежной гайки поверх пружинной шайбы;
- затяжка контргайкой лепестковой шайбы поверх крепежной гайки, с последующим загибом лепестков шайбы на грани крепежной гайки и контргайки.

Однако в процессе длительной эксплуатации машин и механизмов в условиях высокой и долговременной вибрации всегда может произойти самопроизвольное снижение надежности стопоренного устройства.

Такие ситуации чаще происходят, если стопорение осуществлено с помощью затяжки контргайки поверх крепежной гайки, а их смежные поверхности при монтаже были замаслены.

Самопроизвольное ослабление затяжки контргайки может произойти и в том случае, если между крепежной гайкой установлена пружинная шайба,



так как торцевая поверхность крепежной гайки фактически удерживается лишь одним «закусом» от острой кромки пружинной шайбы. И если поверхность гайки имела большую замасленность, и узел работает в условиях большой циклической нагрузки, то надежность такого вида стопорения также не велика.

Наиболее надежным методом стопорения крепежной гайки в настоящее время считается использование специальной лепестковой шайбы, которую устанавливают между крепежной гайкой после ее затяжки и контргайкой, с последующим отгибом лепестков шайбы последовательно на грани крепежной гайки и грани контргайки. Но эта технология стопорения осуществляется не непрерывно во времени, а дискретно. И поэтому между отогнутыми лепестками шайбы и гранями крепежной и контргайки всегда будут существовать какие-то зазоры, которые при определенных условиях вибрации и циклических нагрузках, всегда могут увеличиться и, таким образом ослабить созданный натяг в резьбе, что в дальнейшем может привести к аварийной ситуации.

В ОрелГТУ на кафедре МАПП за последние годы разработано и запатентовано несколько устройств для высоконадежного резьбового стопорения как гаек, так и болтов, рис.1 и рис.2.

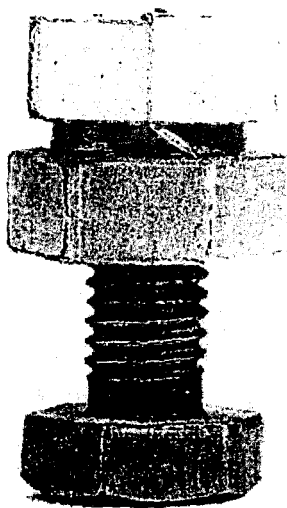


Рис.1 Стопорение гайки



Рис.2. Стопорение болта в «глухом» отверстии

В отличие от всех известных методов стопорения в запатентованных устройствах применен новый способ Землякова Н.В. стопорения резьбовых элементов (гаек и болтов). Гайку на резьбовом стержне можно стопорить на любом его участке резьбы, не обеспечивая обязательного упора в деталь.

Методика стопорения контргайки относительно крепежной гайки осуществляется не дискретно во времени, а непрерывно во времени, с использованием пластической деформации специального стопорного элемента.

Использование болта для крепления в глухом отверстии позволяет обеспечить высокую мобильность ремонтных работ при демонтаже.

Но наиболее перспективной технологией стопорения контргаек является «Способ Землякова Н.В. стопорения контргайки относительно крепежной гайки», рис.3, по которому в настоящее время подана заявка на изобретение.

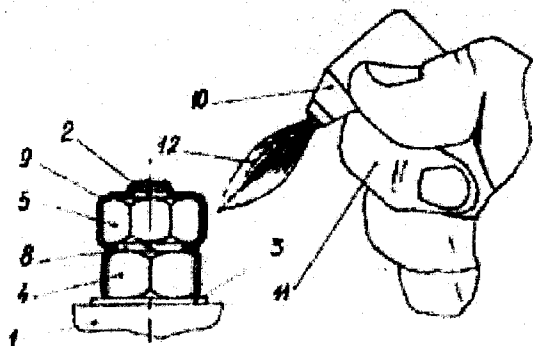
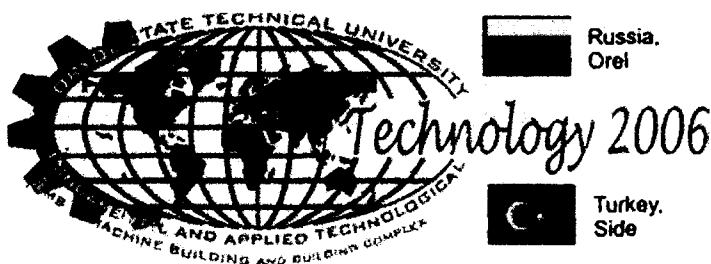


Рис. 3.



УДК 621.9.047.7 : 621.833

## СПЕЦИФИКА СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С ИЗБЫТОЧНЫМИ СВЯЗЯМИ

А.Ю. Илюхин, к.т.н., А.С. Ямников, д.т.н., проф.  
Тульский государственный университет  
Тула, тел. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

## SPECIFICITY OF ASSEMBLY OF CONNECTIONS WITH SUPERFLUOUS LINKS

A.Y. Ilyuhin, Dr., A.S. Yamnikov, Prof., Dr. of Sciences  
Tula State University  
Tula, tel. (4872) 332310, fax (4872) 332310, E-mail:tms@tsu.tula.ru

*Modeling of mobile conjunction's gathering with difficult contour, which provide decrease of hand works, has been studied and developed.*

В настоящее время предприятия уделяют особое внимание вопросу ценообразования с целью обеспечения конкурентоспособности изделий. Для этого необходимо при обеспечении высокого качества изделия существенно снизить его себестоимость. В процессе сборочных работ формируются показатели качества и проявляются все погрешности, возникающие, как на предшествующих ей стадиях производства, так и непосредственно при объединении деталей.

Для запуска в производство изделий, необходимо провести техническую подготовку (переоснащение существующего производства), основной частью которой является технологическая подготовка производства.

Основная задача сборочной операции - получение необходимых заданных величин выходных параметров изделия за счет обеспечения точности замыкающих звеньев.

По способу получения заданных величин замыкающего звена различают следующие типы сборки: сплошная сборка, сборка с предварительной от-

браковкой комплектующих, с групповой взаимозаменяемостью, по действительным размерам [1].

При совершенствовании технологии изготовления изделия, прежде всего, необходимо рационально выбрать сборочный процесс, т.к. именно сборка определяет эксплуатационные характеристики изделий. Оптимизация сборочных процессов возможна только в том случае, когда процессы сборки (применяемые методы и способы сборки) формализованы и получено их математическое описание.

Для каждого из типов сборки разрабатываются свои математические модели, которые сводятся к расчету допусков на составляющие размерную цепь звенья. Последние должны обеспечить требуемую точность замыкающего звена, тем самым, обеспечивая годность изделия [2].

*Совершенствование технологических процессов сборки должно происходить по нескольким направлениям: создание гибких производственных систем (ГПС) сборки; разработка и создание новых технологических процессов сборки, снижающих объем ручных работ; применение автоматизированной системы подготовки сборочного производства с целью оптимизации методов и способов сборки с использованием математического моделирования процесса на ЭВМ с целью управления точностью выходных параметров изделия.*

*Существует ряд изделий, особенностью которых является перемещение деталей сложного профиля, имеющих высокую точность. К ним могут быть отнесены узлы автоматического стрелкового оружия. Особенностью функционирования этих узлов является точное перемещение подвижных частей относительно корпуса без заклинивания.*

*Расчет размерных цепей, а они бывают как правило связанными и обладают избыточными связями, традиционными методами взаимозаменяемости достаточно сложен и не дает объективной оценки точности выходных характеристик изделия. Поэтому конструктором на размеры накладываются более широкие допуски, не обеспечивающие выполнение требований функционирования.*

Обеспечение этих технических требований при сборке осуществляется, как правило, вручную слесарями-сборщиками.

Для уменьшения количества пригоночных работ, на стадии проектирования технологического процесса сборки, предлагается моделировать процесс взаимодействия деталей при помощи методов математической статистики.

В качестве основного критерия собираемости и нормального функционирования узла запираения рационально взять минимальную величину зазора по всем сопрягаемым поверхностям, причем отличную от нуля. Для этого в узле необходимо выделить сечения сопрягаемых деталей, в которых наиболее вероятно возникновение точек контакта, и заменить пространственные геометрические тела дискретными элементами. Взаимное положение сечений определяет возможные перемещения деталей в соединении. Для узла запираения это сечения, представляющие взаимодействие затвора с затворной рамой.

Каждое сечение представляет собой набор геометрических элементов (прямых, дуг окружностей и др.), расположенных в соответствующем порядке и характеризующихся определенным набором параметров (рис. 1.), основными из которых являются: размеры; верхнее и нижнее отклонение размеров (допуск); количество узловых точек.

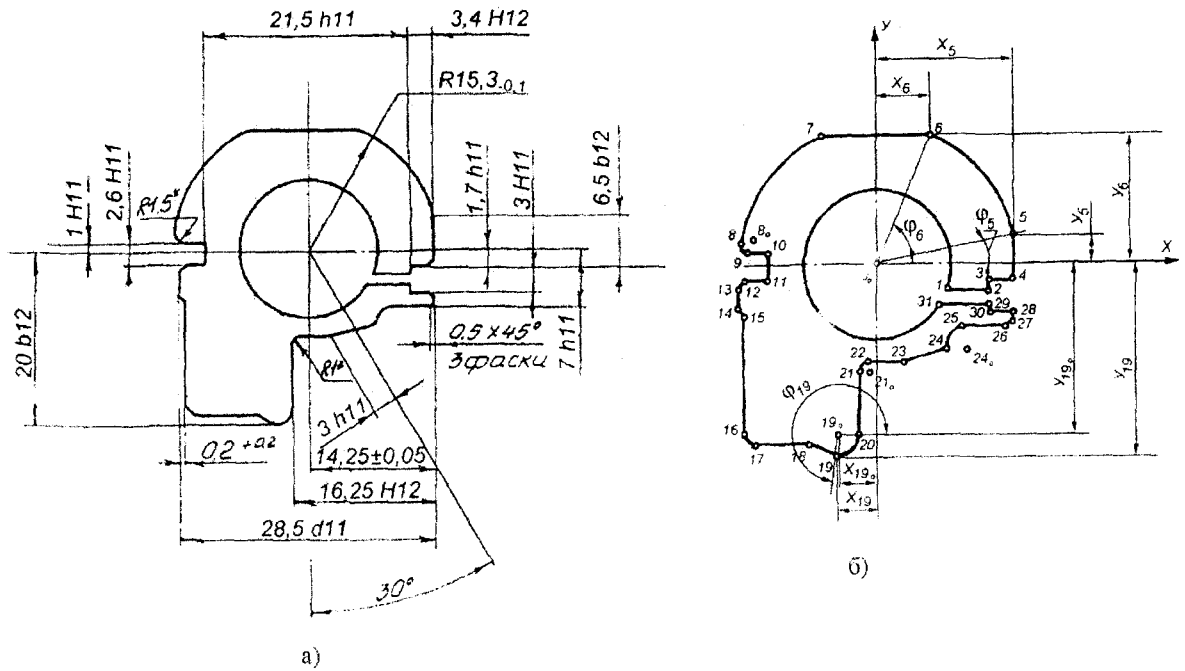


Рис. 1. Параметры, характеризующие сечение:  
 а) размеры и допуски; б) узловые точки и их координаты

При использовании методов моделирования требуется оперировать действительными значениями параметров, но в процессе проектирования изделия нет такой информации и по этой причине для построения математической модели изделия пользуются параметрами, распределение которых получено из чертежных размеров на основе одного из законов распределения.

Однако при изготовлении изделия параметры поверхностей той или иной детали будут иметь законы распределения в зависимости от последней операции механической обработки. Влияние изменения законов распределения можно также оценить в процессе моделирования, осуществив расчет с применением разных законов распределения.

Как уже было сказано, для обеспечения собираемости нормального функционирования изделия необходимо, чтобы по всем сопрягаемым поверхностям имелся зазор, отличный от нуля. Применительно к сечениям, состоящим из дискретных элементов прямых и дуг окружностей это значит, что ни один из элементов не должен пересекаться, касаться или совпадать с другими в пространстве.

Таким образом, для обеспечения собираемости подвижных соединений сложного профиля необходимо решить задачу о наличии пересечений дискретных элементов лимитирующих сечений. В этом случае общий алгоритм решения можно представить следующим образом: по размерам, значения которых принимаются постоянными, вычисляются координаты узловых

точек сечений, т.е. разрабатывается математическая модель, а затем строится графическая модель сечения, которая представляет собой набор элементов (отрезков прямых, дуг окружностей и др.) и последовательность их расположения. На заключительном этапе проводится проверка каждого дискретного элемента одного сечения с каждым элементом другого. При этом определяется возможности их пересечения. Каждый элемент характеризуется граничной областью. Если пересечения областей нет, то для таких элементов точки пересечения не ищем, что значительно ускоряет процесс моделирования. В процессе моделирования таким образом выявляются элементы поверхностей, наиболее часто встречающихся в пересечении, что позволяет уделять им больше внимания.

Моделирование выходных характеристик сборочной операции проводилось для трех случаев: по номинальным значениям размеров, из условия расчета на максимум-минимум и для нескольких реализаций размеров, нормально распределенных в пределах допуска.

В ходе моделирования было выявлено, что при расчете по номинальным значениям размеров в поперечном сечении величина зазоров  $Z_1, Z_4 - Z_6$  (рис. 2а),  $Z_9 - Z_{11}$  (рис. 2,б) равна нулю и для обеспечения гарантированных зазоров в соединениях необходимо менять номинальные значения некоторых размеров.

Расчет на максимум-минимум подтвердил правильность расчетов размерного анализа собираемости узла. Это является подтверждением адекватности построенной модели.

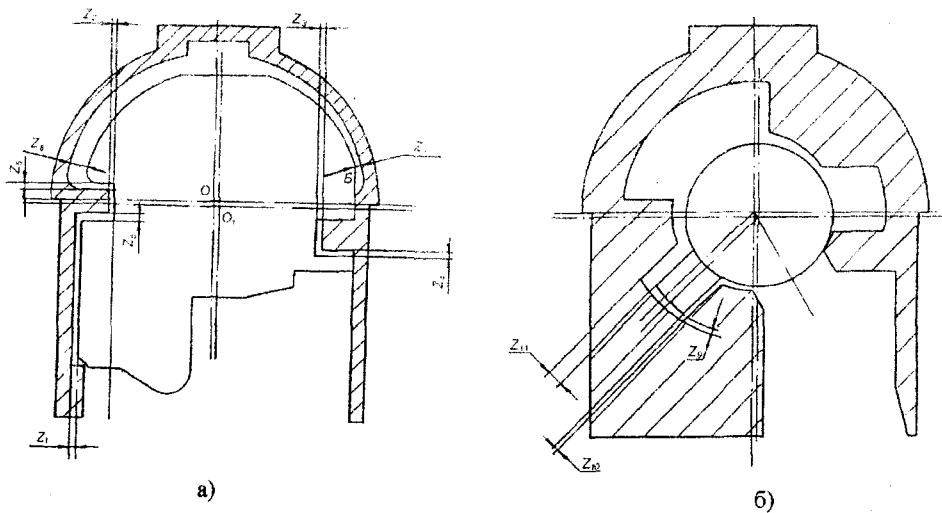


Рис.2. Схема расположения зазоров: а)  $Z_1 - Z_8$ ; б)  $Z_9 - Z_{11}$

При расчете по размерам, полученным моделированием пришли к выводу, что распределения размеров в пределах допуска стремиться к нормальному распределению (рис. 3), однако в малых партиях деталей наблюдается некоторое смещение математического ожидания.

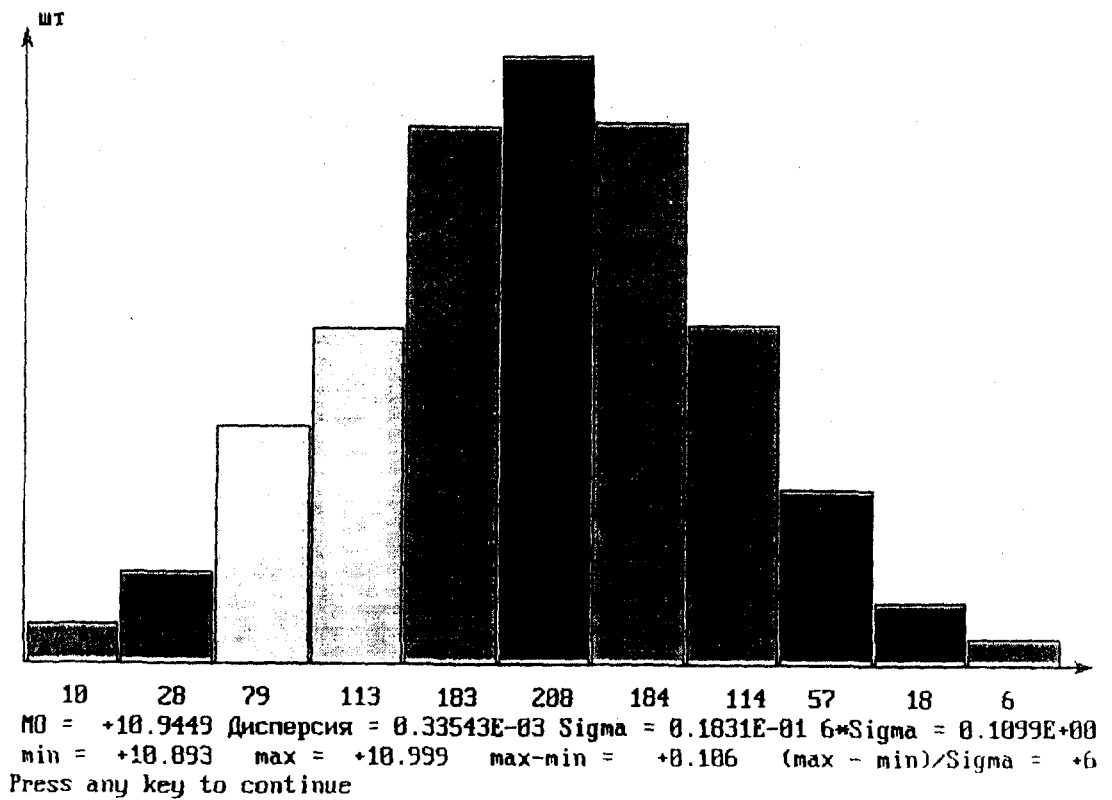
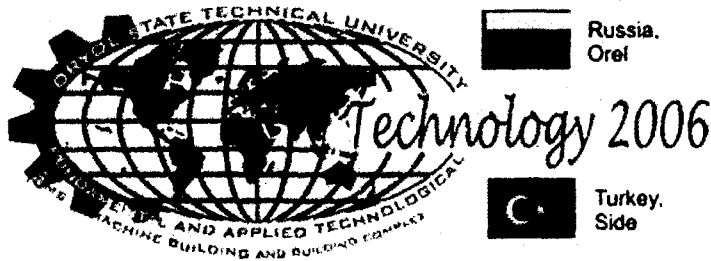


Рис. 3. Гистограмма параметров на 1000 значений

Моделирование собираемости изделия позволило выявить ряд неточностей в назначении размеров соединения по номинальным значениям размеров. Моделирование взаимного положения сечений объединяемых деталей так же дало возможность выявить размеры, наиболее сильно влияющие на собираемость изделия и его функционирование и определить последовательность их изменения, тем самым обосновать величину снимаемого припуска при проведении пригоночных работ. Анализ точности изготовления деталей с применением более совершенного оборудования показал возможность изготовления данного соединения без пригоночных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гибкие сборочные системы / Под ред. У.Б. Хегинботама, пер. с англ. Д.Ф. Миронова, под ред. А.М. Покровского, М.: Машиностроение, 1988. 400с.: ил.
2. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. М.: Машиностроение, 1975. 222 с.



УДК 621.82

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МАСЛЯНОЙ ПЛЕНКИ В КОРЕННЫХ ПОДШИПНИКАХ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ 8ЧВН15/16

Меньшенин Г.Г., к.т.н., доц.; Санинский В.А. к.т.н., доц.  
Волжский политехнический институт (филиал Волгоградского  
государственного технического университета), г. Волжский Волгоградской  
обл., тел. (8-8443) 23 - 77 - 40, E-mail: vibr@rol.ru

## TO A QUESTION OF DEFINITION OF THICKNESS OF ON OIL FILM IN RADICAL BEARINGS КОЛЕНЧАТОГО OF THE SHAFT OF A DIESEL ENGINE 8ЧВН15/16

G. G. Menshenin, c.t.s., assis. Prof.; V. A. Sanincki, c.t.s., assis. Prof.

The Volga polytechnic institute (branch of the Volgograd state technical  
university), of the Voljckii, Volgograd province, ph. (8-8443) 23 - 77 - 40, E-mail:  
vibr@rol.ru

*In clause the results of experimental researches of thickness of an oil film in  
radical bearings of sliding of a diesel engine 8ЧВН 15/16, trajectory of movement  
in a backlash of the centre of the shaft radical шейки коленчатого of the shaft are  
submitted depending on average ( $p_e$ ) of effective pressure (in view of deformations)  
and recommendation for technological maintenance of accuracy of these  
characteristics*

Экспериментальные исследования основных характеристик коренных  
подшипников коленчатого вала, определяющих его работоспособность,  
проводились на полноразмерном двигателе 8ЧВН15/16. Режимы  
исследования были выбраны таким образом, чтобы они охватывали весь  
диапазон частот вращения коленчатого вала и нагрузок.



Нагрузка на двигатель менялась в пределах  $p_e = 0,0 \dots 0,97$  МПа при частоте вращения коленчатого вала в диапазоне  $n = 1000 \dots 1950$  мин<sup>-1</sup>.

Экспериментальные исследования проводились при значениях температур масла, подаваемого в главную масляную магистраль 60...97°C, при давлении подачи — 0,25; 0,3; 0,4; 0,5 МПа.

Исследования дизеля выполнялись на испытательном стенде Волгоградского моторного завода, оснащенного исследовательским оборудованием фирм «AVL» (Австрия) и «SCHENK» (Германия). В его состав входят: электрическая балансирная машина (630 кВт при 2600 мин<sup>-1</sup>) производства ф. «ELLIN» (Австрия); командно—регистрирующий пульт на 62 параметра фирмы «AVL» со встроенным микропроцессором, принтером и комплексом датчиков.

Возможности оборудования позволяли фиксировать все параметры двигателя согласно ГОСТ 18509-88. Текущие значения параметров выводились на монитор процессора, регистрировались в распечатке протокола испытаний с приведением их к стандартным условиям.

Расход топлива измерялся весовым способом, встроенным расходомером стенда с автоматическим расчетом стендовым процессором часового, удельного, в том числе приведенного, расходов топлива, с точностью до 1%.

Частота вращения регистрировалась при помощи фотоэлектрического датчика точностью  $\pm 1$  мин<sup>-1</sup>.

Крутящий момент двигателя регистрировался по моменту балансирной машины при помощи тензо-мездозы с точностью  $\pm 1$  Н·м

Температура масла, надувочного и охлаждающего воздуха измерялись датчиками сопротивления с точностью 0,5%.

Индицирование двигателя производилось прибором «Рi-метр-6602» фирмы «AVL» (Австрия), позволяющим регистрировать давление газов в цилиндре через один градус угла поворота коленчатого вала, с точностью - 2 %. В качестве оценочных были выбраны следующие параметры: минимальная толщина масляного слоя; максимальное давление в смазочном слое; максимальная температура подшипников; расход смазочного материала через подшипник; степень аэрации масла.

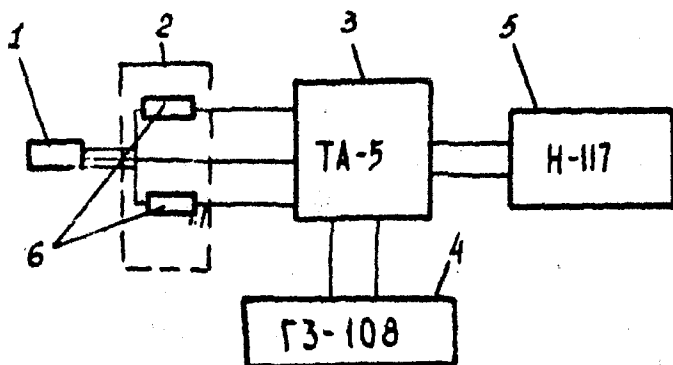


Рис.1.Блок-схема измерений зазора 1-индуктивный датчик; 2-блок согласования; 3-тензо-усилитель ТА-5; 4-генератор ГЗ-108; 5 шлейфовый осциллограф; 6-тензодатчик ПКБ-5-50

Рядом исследований доказана высокая чувствительность индуктивных датчиков и стабильность их показаний, практически не зависящих от различных примесей в масле. На рис.1 представлена блок-схема метода измерения зазоров в подшипнике, размещение датчиков перемещения по опорам представлено на рис. 2.

Стабилизация частоты питания датчиков осуществлялась с помощью внешнего генератора ГЗ—108, подключенного к усилителю ТА—5, что позволило уменьшить погрешность датчика от девиации несущей частоты примерно в пять раз.

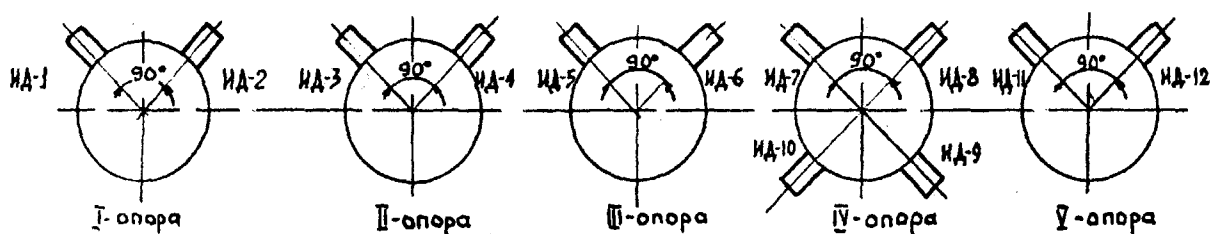


Рис. 2. Схема размещения датчиков перемещения по опорам

Коррекция производилась при помощи калибра, состоящего из тензорезистора ПКБ-10-100 (сопротивлением 100 Ом) и магазина сопротивлений Р-4831, соединенных в полумостовую схему, а так же по активной составляющей канала с точностью до 0,010 м. Уровень контрольного сигнала проверялся и корректировался с помощью генератора ГЗ—108. Индуктивные датчики устанавливались в верхний вкладыш в отверстия с резьбой М8х0,5 и дополнительно фиксировались от смещения смолой К-300.

По данным обработки осциллограмм в прямоугольной системе координат строились траектории движения центра шейки вала в окружности зазора, изображенной в масштабе (рис. 3). Так как зазоры в подшипнике и эксцентриситет весьма малы по сравнению с радиусом вала, обычно принимают, что зазор между трущимися поверхностями шейки вала и вкладышем по осевой линии датчика представляет собой координату центра шейки вала по этой оси.

Анализируя результаты исследований по полученным траекториям движения центра вала и диаграммам удельного гидродинамического давления в слое смазки подшипников можно сделать вывод о том что, на всех скоростных и нагрузочных режимах дизеля, совместная работа коленчатого вала и его подшипников осуществляется в режиме жидкостного трения.

Данное утверждение иллюстрируется, например, рассмотрением траектории положения центра вала наиболее нагруженного четвертого коренного подшипника, диаграммы толщины слоя смазки и удельного

гидродинамического давления в нем (рис.4). Откуда следует, что в течение всего цикла подшипник работает в условиях жидкостного трения.

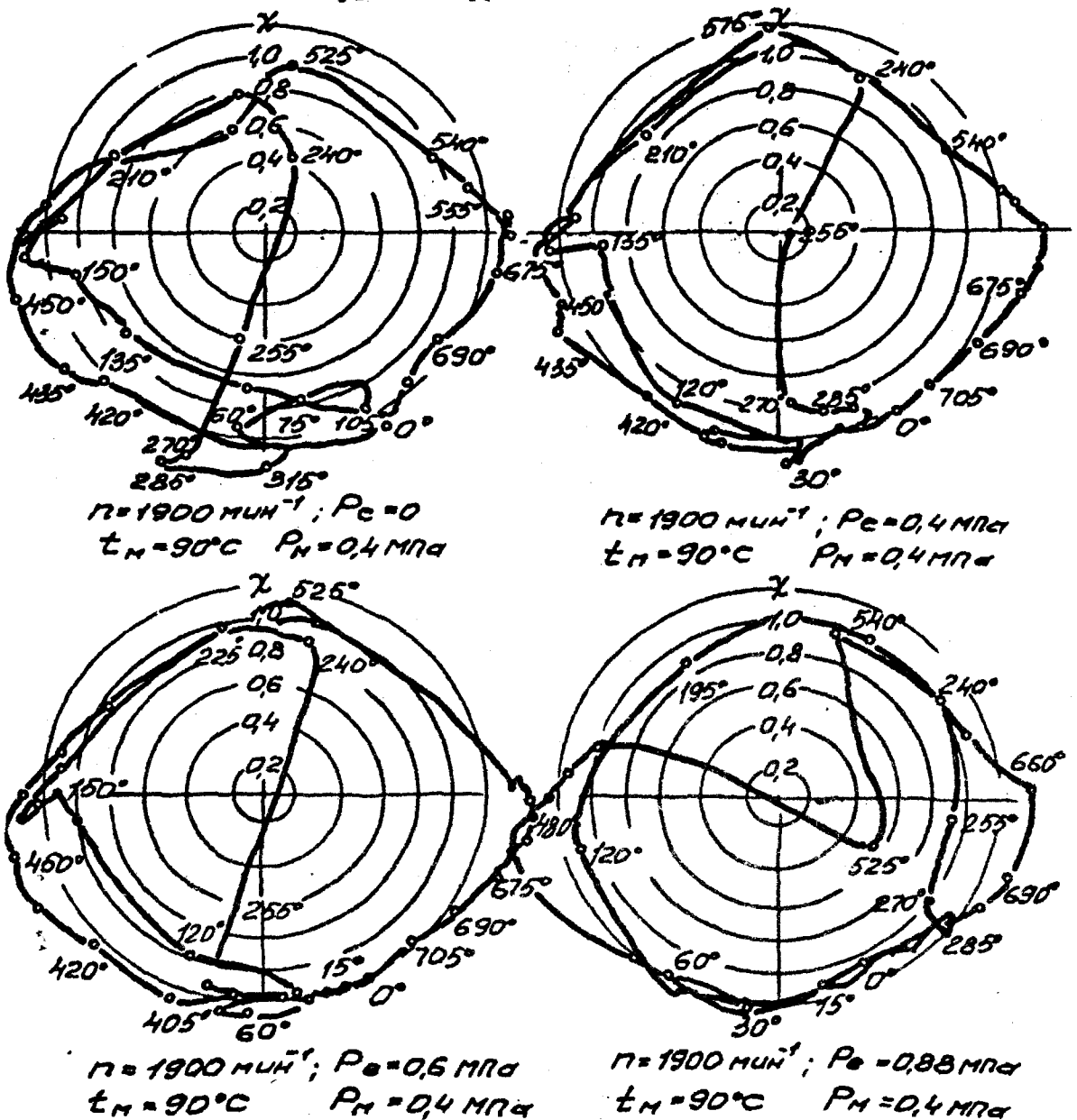


Рис.3. Траектории движения центра вала четвертой коренной шейки в зависимости от среднего ( $p_e$ ) эффективного давления (с учетом деформаций)

1. В момент начала впуска в первом цилиндре ( $0^\circ$  ПКВ) шейка находится внизу и нагружает нижний вкладыш. Несмотря на то, что сила, действующая на подшипник, мала, малое значение эквивалентной угловой скорости приводит к уменьшению толщины слоя смазки до критической.

2. В момент времени, соответствующий  $90^\circ \dots 120^\circ$  по углу поворота коленчатого вала, в третьем цилиндре действует максимальная газовая сила, эквивалентная угловая скорость значительна, тем не менее толщина слоя смазки находится в зоне критической, что объясняется попаданием диаметального сверления (масляный канал) в нагруженную зону, приводящему к резкому снижению несущей способности подшипника.

3. Участок траектории от  $120^\circ$  до  $180^\circ$  по углу поворота коленчатого вала соответствует преобладающему действию инерционных сил.

4. Участок траектории, определяемый от  $180^\circ$  до  $210^\circ$  по углу поворота коленчатого вала, соответствует действию максимальной газовой силы от седьмого цилиндра. Толщина смазки находится в зоне критической, что объясняется попаданием диаметрального сверления в нагруженную зону, приводящему к резкому снижению несущей способности подшипника.

5. В момент времени, соответствующий  $210^\circ \dots 260^\circ$  по углу поворота коленчатого вала доминируют инерционные силы. Толщина слоя смазки изменяется соответственно изменению эквивалентной угловой скорости.

6. Участок траектории, определяемый от  $260^\circ \dots 345^\circ$  по углу поворота коленчатого вала, соответствует действию максимальной газовой силы от восьмого цилиндра.

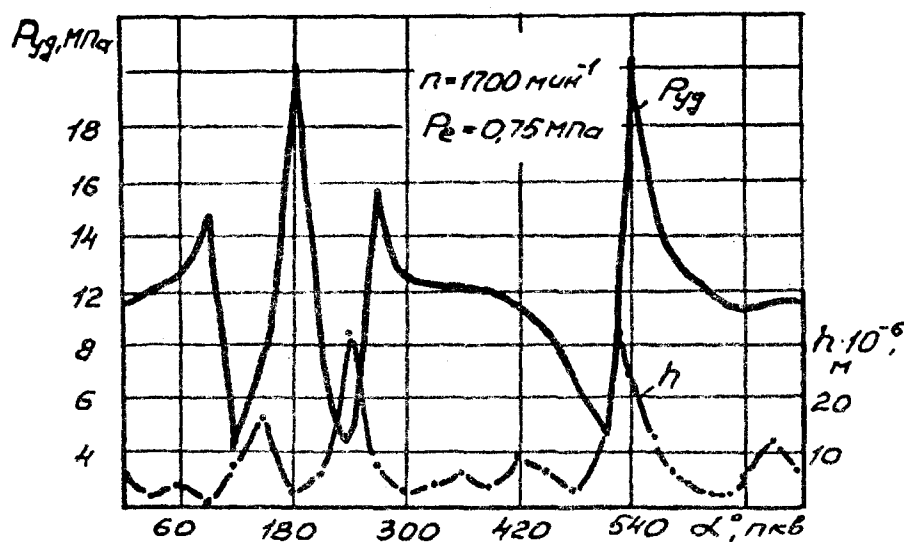


Рис. 4. Изменение толщины слоя смазки ( $h$ ) и удельного гидродинамического давления ( $P_{уд}$ ) четвертого коренного подшипника в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

7. В момент времени, соответствующий  $345^\circ \dots 540^\circ$  по углу поворота коленчатого вала, преобладающими являются инерционные составляющие. Что приводит к увеличению несущей способности подшипника и толщина слоя смазки достигает максимальной величины за цикл величины (при  $530^\circ$  ПКВ).

8. Участок траектории, определяемый от  $540^\circ$  до  $570^\circ$  угла поворота коленчатого вала, соответствует действию максимальной газовой силы от четвертого цилиндра.

9. В момент времени, соответствующий  $570^\circ \dots 720^\circ$  по углу поворота коленчатого вала доминирующим являются инерционные силы. В этой зоне толщина слоя смазки близка к критической, что приводит к уменьшению несущей способности подшипника.

Аналогичные исследования представлены в статье [3].

Однако следует отметить, что в исследованиях [2] и [3] отсутствуют данные о действительных размерах, форме и расположению поверхностей трения соосных пар, их равномерности.

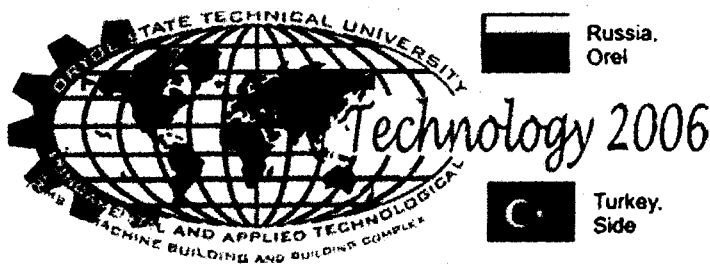
Представляется, что для повышения достоверности исследования и получения дополнительных данных о влиянии равномерности зазоров на толщину масляного слоя, такие эксперименты могут быть продолжены на двигателях, собранных по технологиям, обеспечивающим стабильность зазоров и предварительное определение их перед проведением испытаний.

Исходные данных такого эксперимента должны учитывать, что подшипники скольжения многоопорного узла поддержки валов (МУПВ) работают со смазочным материалом в условиях изменения параметров масляного клина, обусловленного отклонением от соосности постелей под вкладыши подшипников [6], допусками формы их и существенностью отличия диаметров отверстий постелей в одном ряду [5], разнотолщинностью вкладышей [6], отклонением от соосности коренных шеек и различием их диаметров [4].

Такой вывод можно сделать на основании того, что у многоопорного узла может возникнуть неблагоприятное (критическое) положение векторов биений концентрических поверхностей, принадлежащих деталям, входящих в некоторые опоры узла, создающее условия для сокращения времени выхода подшипников скольжения эти опор в зону неустойчивой работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Никитин Ю.Н., Маслов Г.С., Смирнов Г.А. Экспериментальные исследования толщины масляного слоя в подшипниках коленчатого вала тракторного двигателя. Методы испытания и оценки служебных свойств материалов для подшипников скольжения. - М.; Наука, 1972, с. 85—91.
2. Повышение работоспособности коренных подшипников дизеля 8ЧВН15/16. Научно-технический отчет. ЧИМЭСХ - ВГМЗ, 1990, 130с.
3. Сыркин П. Э, Стешов В. В. Определение условий работы опор подшипников скольжения коленчатого вала автомобильного двигателя на основе оценки толщины масляного слоя // «Гидродинамическая теория смазки-120 лет». Труды Междунар. научного симпозиума. В 2-х томах. Т.1-Машиностроение-1, Орел, ОрелГТУ, 2006.- 262-267.
4. Санинский В.А., Меньшенин Г.Г. Определение составляющих радиального биения коренных шеек коленчатых валов //Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 12. С. 41-44.
5. Ивашкин Н.И., Санинский В.А., Меньшенин Г.Г., Светличная В.Б., Яшук В.М. Моделирование радиального биения коренных шеек, опор и подшипников коленчатого вала дизеля / Автомобильная промышленность, №3.- 2004.- С. 25-26.
6. Санинский В.А., Меньшенин Г.Г., Быков Ю.М. Определение зазоров в подшипниках скольжения на основе статистической обработки эмпирических данных отклонений толщины их вкладышей // Технология машиностроения. № 3. - 2005. С. 39-43.



УДК 621.757

## МОДЕЛЬ СТРУЙНОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА

О. С. Харькин, А.В. Дроботов, М. Г. Кристал, к.т.н.  
 Волгоградский государственный технический университет  
 Волгоград, тел.(8442) 233142, fax (233142), E-mail:crysmar@mail.ru

## MODEL OF THE JET SORTING DEVICE

O. S. Kharkin, A.V. Drobotov, M. G. Kristal, PhD  
 Volgograd State Technical University  
 Volgograd, ph. (8442) 233142, fax (233142), E-mail: crysmar@mail.ru.

*The mathematical model of parts driving in the jet sorting device surveyed. The experimental examinations confirming reliability of offered model are carried out*

В производстве широко применяются устройства сортировки деталей с разделением транспортного потока по нескольким каналам. Такие устройства предусматривают подачу деталей на измерительную позицию, контроль параметров и дальнейшее транспортное перемещение в соответствующие сортировочные каналы.

Проведенные исследования показали, что при сортировке малогабаритных и миниатюрных деталей перспективным является применение струйных пневматических устройств. Они обеспечивают высокую надежность и производительность, позволяют сортировать детали малой жесткости и с легко повреждаемыми поверхностями.

Разработаны схемы струйных сортировочных устройств, в которых подача деталей на измерительную позицию, их перемещение в транспортных каналах закрытого типа и распределение по соответствующим приемным лоткам осуществляется струями сжатого воздуха [1, 2].

Для плоских цилиндрических деталей предложена схема сортировочного устройства с горизонтальным транспортным каналом и приемными лот-

ками, расположенными перпендикулярно или под некоторым углом к его оси.

Деталь 1 диаметром  $d$  и высотой  $h$  с измерительной позиции перемещается по транспортному каналу 2 струей воздуха, истекающей из силового сопла 3 (рис. 1). Для направления детали в соответствующий приемный лоток 4 необходимо затормозить ее и изменить траекторию движения. С этой целью напротив входа в приемный лоток устанавливаются сортировочные сопла 5 под некоторым углом  $\alpha$  навстречу движению детали. Струи воздуха, истекающие из сопел 5, тормозят детали и направляют их в приемные лотки.

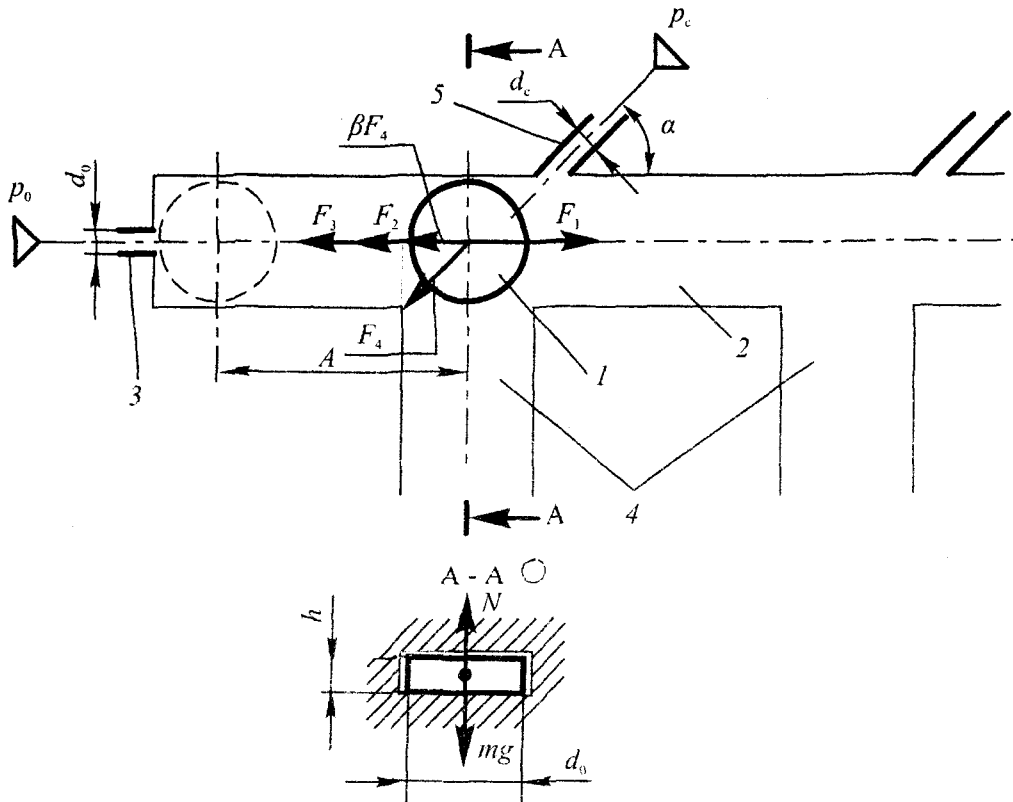


Рис. 1.

Математическая модель сортировочного устройства разработана с учетом следующих соображений.

Движение детали массой  $m$  в прямоугольном канале закрытого типа происходит под действием силы динамического давления  $F_1$  струи воздуха, истекающей из силового сопла диаметром  $d_0$ , лобового сопротивления  $F_2$ , кулоновского трения  $F_3$ , силы противодействия  $F_4$  струи воздуха, истекающей из сортировочного сопла диаметром  $d_c$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 - F_2 - F_3 - F_4 \quad (1)$$

Сила  $F_1$  динамического давления струи воздуха на деталь на основании теоремы о количестве движения равна секунднему импульсу силы:

$$F_1 = M(u - v) = \rho Q \left(u - \frac{dx}{dt}\right) = \rho S \left(u - \frac{dx}{dt}\right)^2, \quad (2)$$

где  $M$  и  $Q$  – массовый и объемный расход струи;  $u$  – средняя скорость потока;  $\rho$  – плотность воздуха;  $S$  – поперечное сечение струи;  $\frac{dx}{dt}$  – скорость движения детали.

Скорость воздуха, истекающего из силовых и сортировочных сопел определялась из условия адиабатного истечения воздуха из сопла. При этом за основу взяты приближенная схема, и основные расчетные зависимости для свободной затопленной турбулентной струи несжимаемой жидкости [3].

Сила  $F_2$  лобового сопротивления определяется зависимостью

$$F_2 = CS_m \frac{\rho v^2}{2}, \quad (3)$$

где  $C$  – коэффициент лобового сопротивления тела;  $S_m$  – площадь миделева сечения детали.

Сила  $F_3 = mgf$  трения детали о рабочую поверхность транспортного канала, где  $g$  – ускорение свободного падения;  $f$  – коэффициент трения материалов детали и рабочей поверхности транспортного канала.

Сила  $F_4$  определяется аналогично силе  $F_1$  с учетом угла  $\alpha$  наклона сортировочного сопла:

$$F_4 = \beta \rho S \left( u + \frac{dx}{dt} \right)^2 \cos \alpha, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий распределение струи сортировочного сопла между транспортным каналом и приемным лотком.

Решение уравнения (1) осуществлялось численно с использованием пакета «Maple 8». Условием сортировки является нулевая скорость  $\frac{dx}{dt} = 0$  движения детали по транспортному каналу при достижении ею приемного лотка. Исходя из этого условия, осуществлялся выбор оптимальных параметров сортировочных устройств по критерию минимального времени  $t$  перемещения сортируемой детали на базовое расстояние  $A$  от силового сопла 3 до приемного лотка 4.

Для оценки адекватности полученной модели реальному процессу были проведены экспериментальные исследования.

В ходе экспериментов изменялись следующие величины: масса  $m$  деталей, коэффициент  $f$  трения детали по поверхности транспортирования, расстояние  $A$  от силового сопла до приемного лотка. Оценивалось влияние величин давления сжатого воздуха в силовом  $p_0$  и сортировочных  $p_c$  соплах, а также угла  $\alpha$  наклона струи сортировочного сопла. В качестве исследуемого параметра выбран закон и траектории плоскопараллельного перемещения сортируемых деталей.

Для получения экспериментальных данных использовался метод хронофотографии с последующей обработкой кадров, полученных с помощью



цифровой камеры IXUS 65 при освещении исследуемого объекта газоразрядной лампой стробоскопического тахометра СТ .

По результатам опытов получены законы движения сортируемой детали (рис. 2).

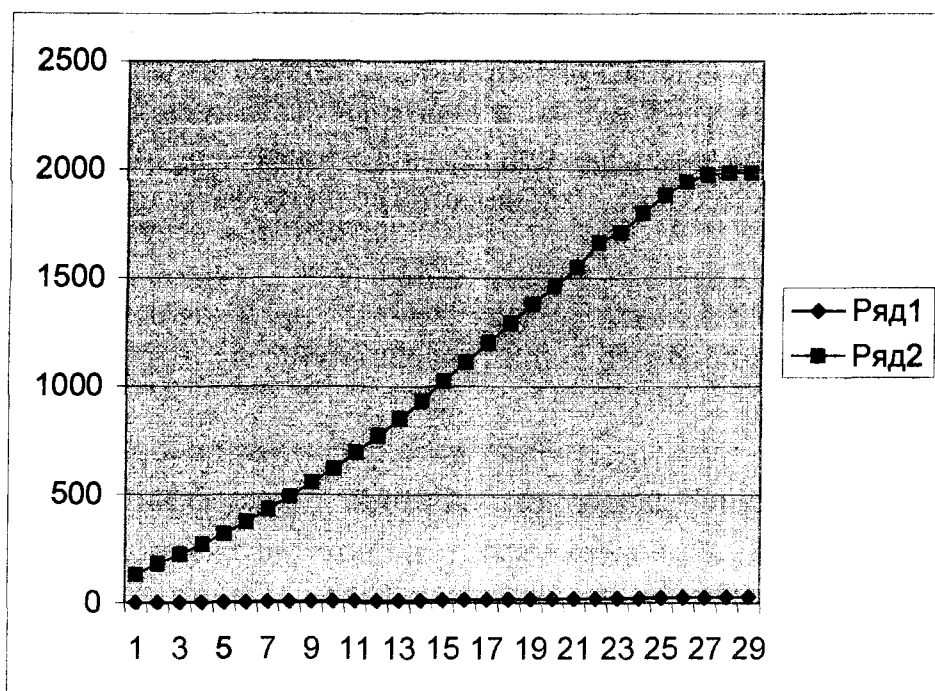


Рис. 2.

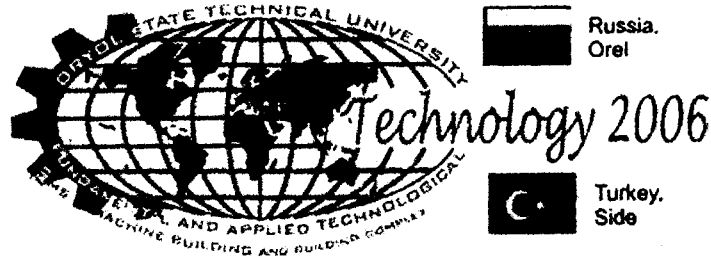
Результаты экспериментального исследования подтвердили основные положения математической модели струйного сортировочного устройства, что позволяет использовать полученные зависимости для определения основных технологических параметров при проектировании данных устройств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Харькин О.С. Струйные сортировочные устройства контрольных автоматов. Приборы и системы управления, 1998, № 6, С. 47 – 48.
2. Харькин О.С., Кристаль М.Г. Струйное устройство сортировки плоских деталей // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Автоматизация технологических процессов в машиностроении: Межвузовский сб. науч. статей. №5 (20)/ Волгоград: ВолгГТУ, 2006. С. 77 – 83.
3. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С. Элементы струйной автоматики. М.: Машиностроение, 1973. 360 с.



# ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ



УДК 621.671(088.8)

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ШНЕКОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ЖИДКОСТЕЙ И ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИХ МАСС

Н.В.Земляков, к.т.н., доцент  
Орловский государственный технический университет  
Орел, тел. и fax(4862)551187, E-mail: mapp@ostu.ru

## DEVELOPMENT HIGHLY EFFECTIVE SPIRAL PUMPS FOR SWAPPING LIQUIDS AND IS PLASTIC-VISCOUS WEIGHTS

N.V. Zemljakov, prof., the senior lecturer  
The Oryol state technical university  
Eagle, ph. and fax (4862 551187, E-mail:mapp@ostu.ru

*Centrifugal force should work.*

В ОрелГТУ на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» проводится работа по созданию высокоэффективных шнековых насосов для перекачки жидкостей и пластично-вязких масс, как пищевых, так и других, например нефтехимических, фармацевтических иловых.

В настоящее время по этому направлению работы получено восемь патентов России на изобретения и подано две заявки на получение патента на изобретения.

Перекачка жидкостей шнековым насосом имеет историю более чем две с половиной тысячи лет. Первое такое устройство («Водоподъемник Архимеда») считается личной разработкой Архимеда.

Однако на кафедре МАПП установили, что для более эффективной работы такого водоподъемника, шнек надо изготавливать по новой технологии, что и подтвердили многочисленные лабораторные исследования и промышленные испытания опытной конструкции шнекового насоса, проведенные на очистных сооружениях г. Орла, рис. 1.

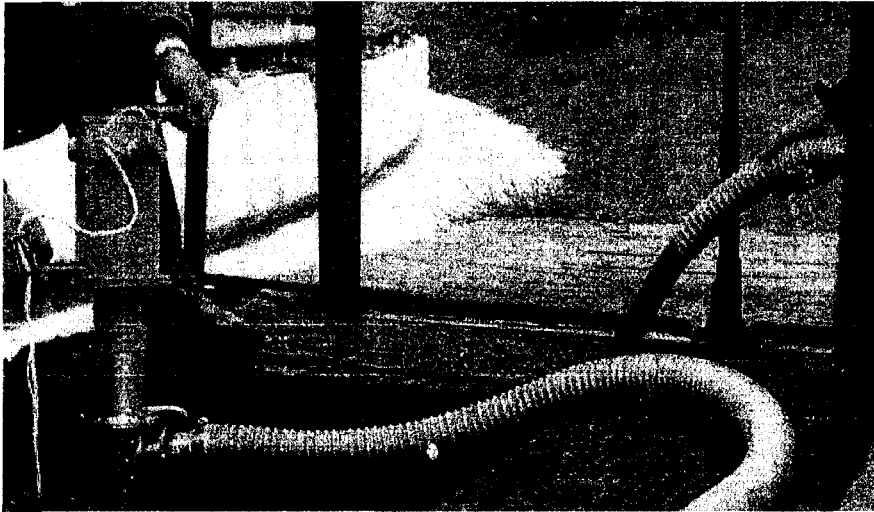


Рис. 1. Перекачка ила на очистных сооружениях г.Орла

Шнековые насосы, разработанные на кафедре МАПП, в отличие от известных, выполнены в виде ручного инструмента и имеют только один шланг – напорный, по которому захваченная шнеком масса выводится в нужное место. Шнек размещен в корпусе так, что его входная для жидкости часть выступает из корпуса, это необходимо для захвата больших объемов окружающей жидкости. Но в процессе исследований было установлено, что такая конструкция, при быстром вращении шнека сбрасывает за счет центробежной силы значительное количество захваченной жидкости. Возникшая проблема была решена разработкой новой конструкции шнека, которая позволяла обуздать пагубное действие центробежной силы и не давать массе жидкости сбрасываться с лопасти шнека, по крайней мере, до тех пор, пока она не поступит в корпус насоса. Новая конструкция заключалась в том, что лопасть шнека в объеме питателя, на выступающей из корпуса его части по всему периметру наружного диаметра со стороны ее рабочей поверхности была снабжена бортом, рис. 2.

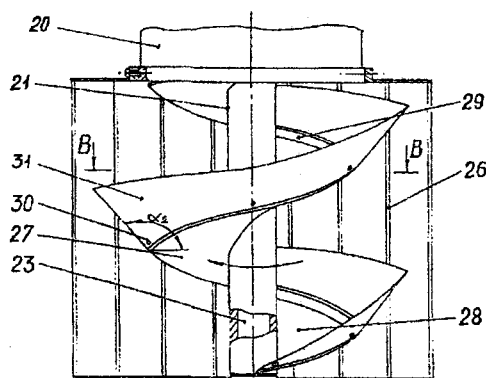


Рис. 2. Узел питателя

При первом же испытании нового насоса результаты производительности и энергопотребления удивили. Далее было принято решение проводить дальнейшие испытания на воде, как на самом удобном пищевом продукте. Первая функциональная зависимость, которая была определена, это влияние высоты борта на величину производительности насоса.

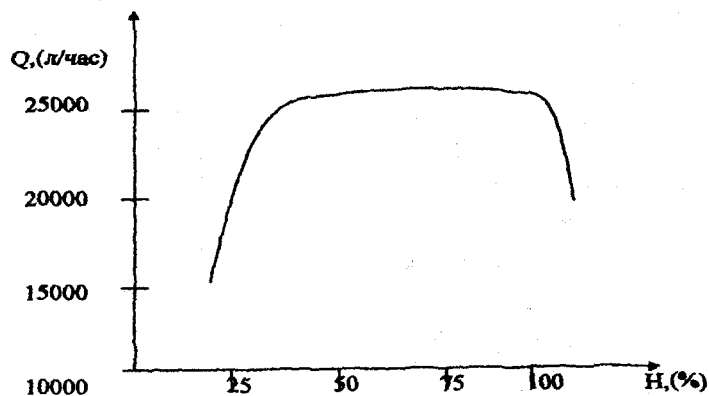
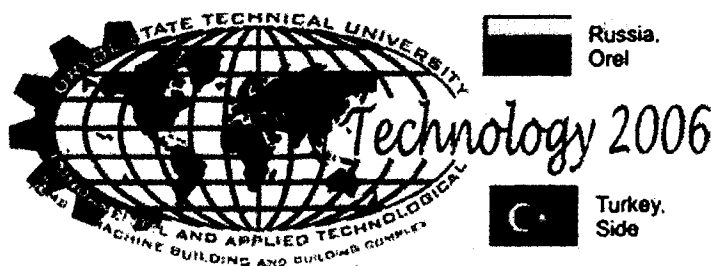


Рис. 3. Зависимость производительности от высоты борта

Из зависимости видно, что даже небольшая величина борта на периферии лопасти шнека обеспечивает суммирование потока от действия центробежной силы с потоком, создаваемым рабочей поверхностью лопасти шнека, как наклонной поверхностью. В результате при перекачке воды получили производительность насоса равную  $26 \text{ м}^3/\text{час}$ , при потребляемой мощности всего 700 ватт.

Такое техническое открытие заставило проанализировать новый эффект и попытаться применить его и для других функциональных целей. В результате чего были получены новые патенты на такие изобретения, как:

- Гребной винт для надводного и подводного транспорта;
- Воздушный винт самолета;
- Несущий винт вертолета;
- Несущий винт вертолета конструкции Землякова Н.В.;
- Осевой вентилятор;
- Шнековый бытовой бур конструкции Землякова;
- Шнековый ледобур конструкции Землякова Н.В.;
- Ледобур Землякова с мобильным электроприводом;
- Пропеллерная мешалка конструкции Землякова Н.В. для перемешивания жидких сред;
- Мобильный шнековый насос для жидкостей конструкции Землякова.



УДК 621.762.001/002

## РАСЧЕТ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ПРЕССОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

В.А. Манерцев, к.т.н., В.А. Годлевский, д.т.н.  
Кинешемский филиал Московского государственного  
индустриального университета

Кинешма Ивановской обл., тел. (09331) 53873, e-mail: godl209@ivanovo.ac.ru

## FORM AND SIZES CALCULATIONS FOR PRESSED BILLETS FOR POWDER-SINTERED SLIDING BEARINGS

V.A. Manertsev, cand. sci.

Kineshma branch of Moscow State Industrial University  
Kineshma, Ivanovo region., tel. (09331) 53873, e-mail: godl209@ivanovo.ac.ru

*The geometrical calculations for interconnected sizes spherical powder bearings and their billets were made. It allows to evaluate exactly the corresponding sizes of pressing dies, to ensure the necessary geometrical and dimensional accuracy.*

Характерными деталями для узлов трения высокооборотных электродвигателей, являются подшипники скольжения сферической формы высокой размерности (6...7-й квалитеты) и геометрической (4...5 степени) точности. Такие детали в настоящее время изготавливаются методами порошковой металлургии путем прессования. Необходимость точной оценки геометрических параметров заготовки и соответствующий прессформ обусловлена тем, что на внешней сферической поверхности подшипника не должно быть дефектов типа «шва» или облоя, которые мешали бы базированию детали и влияли бы на точность позиционирования узла трения при сборке.

Обычно готовая деталь имеет форму усеченной с двух противоположных сторон сферы с центральным отверстием (рис. 1). Имея математическое описание формы заготовки и детали, можно исследовать влияние вариации

размерных параметров. Отсюда можно найти резервы для уменьшения отходов и соответствующего повышения точности изделий. Из рис. 1. видно, что заготовка детали характеризуется пятью размерными параметрами: высотой заготовки —  $H_1$ , внешним диаметром заготовки —  $D_1$ , внутренним диаметром заготовки —  $d_1$ , длиной «плеча» заготовки —  $l_1$  и углом наклона скошенной части заготовки —  $\alpha$ .

Соотношения между этими размерами следующие:  
 $H_1 = H + \Delta_1$ ;  $D_1 = D + \Delta_2$ ;  $d_1 = d + \Delta_3$ ,  
 где  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  — соответствующие припуски.

Таким образом, имеем 5 варьируемых параметров для заготовки:  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \alpha, l_1$ .

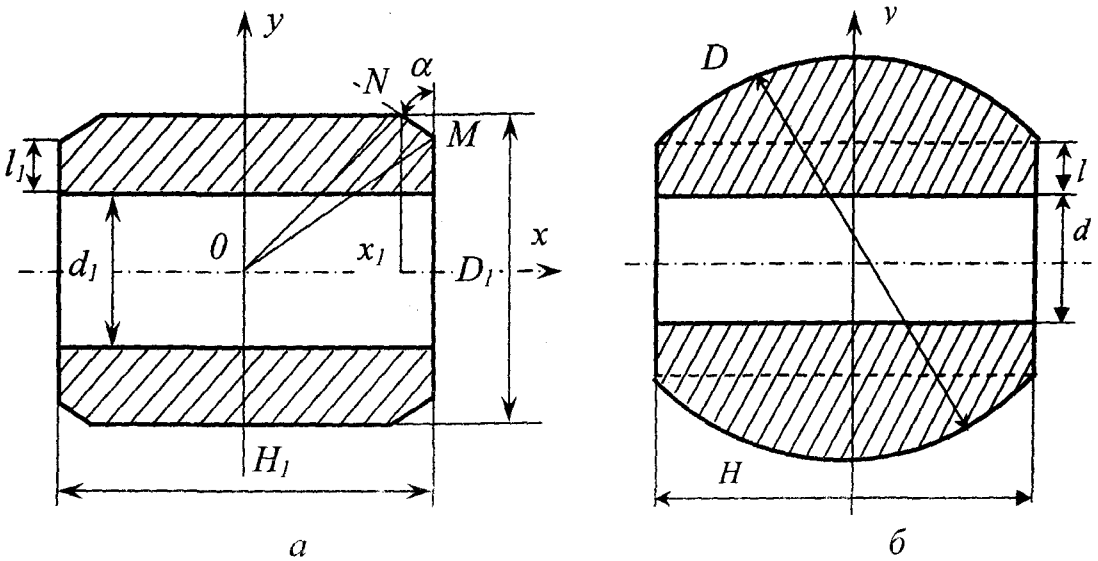


Рис. 1. Эскизы заготовки (а) и готового сферического подшипника (б).  
 $H_1$  — высота заготовки;  $D_1$  — внешний диаметр заготовки;  
 $d_1$  — внутренний диаметр заготовки;  $l$  — «плечо» заготовки;  
 $\alpha$  — угол наклона скошенной части заготовки;  
 $H$  — высота готовой детали;  $D$  — внешний диаметр готовой детали;  
 $d$  — внутренний диаметр готовой детали

### Расчет объема готовой детали

Готовая деталь является телом вращения окружности радиуса  $r$ .  
 2). Формула ее объема с учетом ее основных размерных параметров имеет вид:

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 - V_2 = 2\pi \int_0^{H/2} y^2 dx - \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 H = 2\pi \int_0^{H/2} \left(\frac{D}{4} - x^2\right) dx - \frac{\pi d^2}{4} H = \\
 &= 2\pi \left( \frac{D^2}{4} x - \frac{x^3}{3} \Big|_0^{H/2} \right) - \frac{\pi d^2 H}{4} = 2\pi \left( \frac{D^2 H}{4 \cdot 2} - \frac{H^3}{24} \right) - \frac{\pi d^2 H}{4} = \\
 &= \frac{2\pi H}{8} \left( D^2 - \frac{H^2}{3} \right) - \frac{\pi d^2 H}{4} = \frac{\pi H}{4} \left( D^2 - d^2 - \frac{H^2}{3} \right)
 \end{aligned}$$

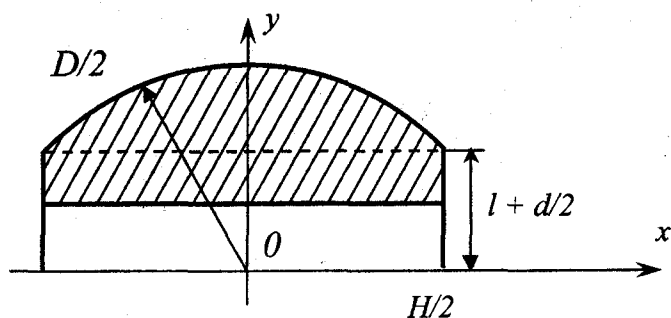


Рис. 2. Схема для расчета объема готовой детали

Расчет объема заготовки

Для построения аналитического выражения используем рис. 3. Координаты точек *M* и *N*, характеризующих скос наружной поверхности, будут следующими:

$$N\left(x_1, \frac{D_1}{2}\right); M\left(\frac{H_1}{2}, \frac{d_1}{2} + l_1\right). \tag{3}$$

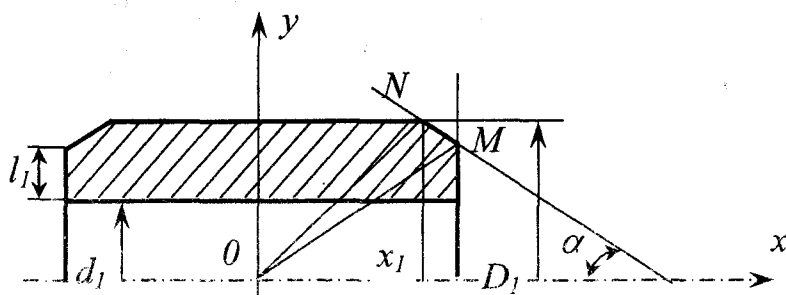


Рис. 3. Чертеж для построения формулы объема заготовки

В результате геометрических расчетов получим

$$\frac{\pi H}{4} \left( D^2 - \frac{H^2}{3} - d^2 \right) = \frac{\pi (D - \Delta_2)^2 x_1}{2} - \frac{\pi (d + \Delta_3)^2 (H + \Delta_1)}{4} - \frac{2\pi}{3 \operatorname{ctg} \alpha} \left[ \left( b - \frac{H + \Delta_1}{2} \operatorname{ctg} \alpha \right)^3 - (b - x_1 \operatorname{ctg} \alpha)^3 \right], \tag{4}$$

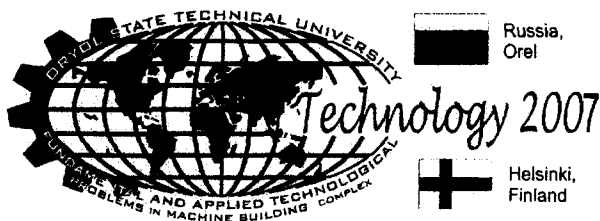
где

$$x_1 = \frac{H + \Delta_1}{2} + \operatorname{tg} \alpha \left( l_1 + \frac{d + \Delta_3 - D + \Delta_2}{2} \right); \tag{5}$$

$$b = \frac{d + \Delta_3}{2} + l_1 + \operatorname{ctg} \alpha \frac{H + \Delta_1}{2}. \tag{6}$$

Таким образом, получены расчетные уравнения с пятью независимыми параметрами:  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \alpha, l_1$ , с помощью которых можно рассчитывать размерные параметры рабочей части прессовочного инструмента. Реализация этих исследований позволяет обеспечить надлежащее качество изделий — прессованных порошковых подшипников скольжения.





*Уважаемые коллеги!*

**ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
И ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»**

**приглашает Вас принять участие в**

***VIII Международной  
научно-технической конференции***

**«Фундаментальные и прикладные проблемы**

**в машиностроительном комплексе»**

**«Технология - 2007»**

**Россия, Орел – Helsinki, Finland**

**2 – 9 мая 2007 года.**

### **НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ**

***Фундаментальные и прикладные проблемы:***

- технологии, оборудование и инструмент абразивной обработки;
- технологии, оборудование и инструмент лезвийной обработки;
- технологии, оборудование и инструмент упрочняющей и отделочной обработки, технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин;
- технологии и оборудование обработки физико-техническими методами;
- технологии диагностики и контроля качества выпускаемой продукции;
- трение, износ, смазка в машинах и механизмах;
- технологии легкой промышленности;
- ресурсо- и энергосбережение в машиностроительном комплексе;
- технологии организационно-экономического управления производством;
- образовательные технологии в системе качества профильного профессионального образования.



**тел./факс (4862) 555524 E-mail: [ti@ostu.ru](mailto:ti@ostu.ru)**