
Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

№ 3(7)
2017

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

*В сборнике печатаются материалы международной конференции
«Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в
машиностроении» (11 – 15 сентября 2017 года),
при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 17-08-20448)*

Севастополь 2017

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Главный редактор

д.т.н., проф. БРАТАН С.М.

Зам. главного редактора

к.т.н., доц. – ГОЛОВИН В.И.

Научный редактор

д.т.н., проф. ПОКИНТЕЛИЦА Н.И.

Отв. секретарь

к.т.н., доц. ЛЕВЧЕНКО Е.А.

Редакционная коллегия

БАКУЛИНА А.Н.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
БЕРЕНГАРТЕН М. Г.	к. х. н., проф. (г. Москва)
БОХОНСКИЙ А.И.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
ВЕТРОГОН А.А.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
ДУЮН Т.А.	д. т. н., проф. (г. Белгород)
КОПП В.Я.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
МЕШКОВ В.В.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
МИХАЙЛОВ А.Н.	д. т. н., проф., (г. Донецк, Украина)
НЕМЕНКО А.В.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
НИЧКОВА Л.А.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
НОВОСЕЛОВ Ю.К.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
ПАШКОВ Е.В.,	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
СЕВРИКОВ В.В.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
СУСЛОВ А.Г.	д. т. н., проф. (г. Москва)
ФАЛАЛЕЕВ А.П.	д. т. н., проф. (г. Санкт-Петербург)
ФИЛИПОВИЧ О.В.	к. т. н., доц. (г. Севастополь)
ХАРЧЕНКО А.О.	к. т. н., проф. (г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

Абдулгасис Д.У., Абдулгасис У.А. Возможность двухцелевой модернизации масляных сотс для лезвий- ной обработки труднообрабатываемых материалов	4
Азаренко Е.И. Исследование уровня промышленной безопасности в Крыму на основе анализа статисти- ческих показателей травматизма и профзаболеваемости.....	13
Буянов И.А., Малышева Г.В. Исследование влияния технологии прошивки на свойства многоаксиальных тканей и композитов на их основе	19
Вожжов А.А. Оценка влияния относительных коле- баний детали и инструмента на шероховатость по- верхности в процессе фасонного точения канавок колец коллекторов	24
Ничкова Л.А., Сигора Г.А., Осадчая Л.И., Хоменко Т.Ю. Физиологические аспекты воздействия ик- излучения на организм работающих	31
Светличная О.В., Покинтелица Н.И. Технология кондитерских изделий специального назначения.....	37
Стреляная Ю.О. Управление точностью шпиндель- ного узла при помощи адаптивных гидростатических опор с обратной связью	43
Титков В.А. Современные методики подготовки ин- женера машиностроительного производства	50
Умеров Э.Д. Триботехнологическая эффективность масляной СОТС с присадкой монтмориллонита при сверлении титанового сплава	56
Хромов В.Г., Хромов И.В. Моделирование формо- изменения пространственной линии по заданному тензору деформации сплошной среды	62
Шрон Л.Б., Богуцкий В.Б., Гордеева Э.С. Обработка отверстий корпусов с совмещением процессов тонкого точения и пластического деформирования	67

Учредитель и издатель: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация

Сборник зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64121 от 25.12.2015 г.

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Chief Editor

D.Sc., Prof. – BRATAN S.M.

Associate Editor in Chief

Ph.D., Associate Prof. – GOLOVIN V.I.

Scientific Editor

D.Sc., Prof. – POKINTELITSA N.I.

Executive Secretary

Ph.D., Associate Prof. – LEVCHENKO E.A.

Editorial team

BAKULINA A.N.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
BERENGARTEN M.G.	D.Sc., Prof. (Moscow)
BOHONSKIY A.I.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
VETROGON A.A.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
DUYUN T.A.	D.Sc., Prof. (Belgorod)
KOPP V.YA.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
MESHKOV V.V.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
MIKHAILOV A.N.	D.Sc., Prof. (Donetsk)
NEMENKO A.V.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
NICHKOVA L.A.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
NOVOSELOV YU.K.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
PASHKOV E.V..	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
SEVRIKOV V.V.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
SUSLOV A.G.	D.Sc., Prof. (Moscow)
FALALEEV A.P.	D.Sc., Prof. (St. Petersburg)
FILIPOVICH O.V.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)
KHARCHENKO A.O.	Ph.D., Associate Prof. (Sevastopol)

CONTENTS

Abdulgaziz D.U., Abdulgaziz U.A. The ability dual-way upgrade the oil coolants for cutting the machining of difficult to machine materials	4
Azarenko E.I. Investigation of industrial safety level in the Crimea based on the analysis of traumatism statistical indicators and occupational diseases	13
Buynov I.A., Malysheva G.V. Way to prevent technological defects machine parts manufactured using additive technology	19
Vozhzhov A.A. Evaluation of the influence of the relative differences of the detail and the tool on the ribbon of the surface in the process of the shaped point of the ribbons of the ring of the manifolds	24
Nichkova L.A., Sigora G.A., Osadchaya L.I., Khomenko T.Y. Physiological aspects of the influence of ir radiation on the body working.....	31
Svetlichnaya O.V., Pokintelitsa N.I. Technology of confectionery products of special purpose	37
Strelyanaya Yu.O. Control of accuracy of the spindle unit with adaptive hydrostatic supports with feedback	43
Titkov V.A. Modern methods training of engineer machine-building production	50
Umerov E.D. Tribotechnologies efficiency of oil coolants with additive montmorillonite when drilling titanium alloy.....	56
Khromov V.G., Khromov I.V. Modelling of forming a spatial thin rod using strain tensor of a continuous deformable solid.....	62
Shron L.B., Bogutsky V.B., Gordeeva E.S. Processing of holes in casings with the combination of the processes of thin whetting and plastic deformation	67

Founder and publisher: FSAEO HE «Sevastopol State University, St. Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation

The collection is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass communications. The certificate PI № FS 77 - 64121 of 25.12.2015

УДК 624.9.026

ВОЗМОЖНОСТЬ ДВУЦЕЛЕВОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ МАСЛЯНЫХ СОТС ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.У. Абдулгазис¹, У.А. Абдулгазис¹¹ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Российская федерация

Аннотация

Проведен анализ литературы по накопленному опыту активации СОТС внешними энергетическими воздействиями, электрической активацией, ультразвуковой обработкой, постоянными магнитами, эндотермическими присадками. Рассмотрена результативность присадки «сухих смазок» к моторным маслам в виде графита, дисульфида молибдена, геомодификатора трения – естественного и искусственного серпентина. Показана возможность дальнейшего модернизирования масляных СОТС для лезвийной обработки труднообрабатываемых материалов.

В качестве присадки к масляной субстанции СОТС предложен наноглинистый минерал – монтмориллонит, свойства которого связаны с наноразмерными эффектами. Описаны физико-химические свойства монтмориллонита, способствующие проявлению триботехнологических и эндотермических эффектов при попадании его в состав СОТС в зоне резания. Даются ссылки на публикацию авторов, где приведены результаты предварительных экспериментальных станочных испытаний масляной СОТС с наноглинистой минеральной присадкой.

Ключевые слова: сверление, триботехнологические свойства СОТС, эндотермические свойства СОТС, монтмориллонит, труднообрабатываемые материалы.

THE ABILITY DUALWAY UPGRADE THE OIL COOLANTS FOR CUTTING THE MACHINING OF DIFFICULT TO MACHINE MATERIALS

D.U. Abdulgaziz¹, U.A. Abdulgaziz¹¹ Crimean engineer-pedagogical University, Simferopol, Russian Federation

Abstract

The analysis of literature on lessons learned activation oil coolants for cutting external energy influences, electrical activation, ultrasound treatment, permanent magnets, endothermic additives. Reviewed the performance of the additive "dry lubricants" is motor oil in the form of graphite, molybdenum disulfide, friction geomodifiers – natural and artificial serpentine. Shows the possibility of further upgrading the oil coolants for cutting machining of hardly machined materials.

As additive to oil-like oil coolants for cutting proposed nanoclay mineral montmorillonite, whose properties are associated with nanoscale effects. The described physico-chemical properties of montmorillonite, facilitating tribotechnologies and endothermic effects in contact with him in the composition of the coolants in the cutting zone. Reference is made to the publication authors, where the results of preliminary experimental tests of machining oil coolants with nanoclay mineral additive.

Keywords: drilling, tribotechnologies properties of oil coolants for cutting endothermic properties of oil coolants for cutting, montmorillonite, tough materials.

1. Постановка проблемы

Ежегодно растет необходимость в лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов, что повышает одновременно требования и к охлаждающим и к смазывающим показателям СОТС. Используемые смазочно-охлаждающие технологические

средства (СОТС) выражено проявляют один из этих показателей – либо охлаждающий, либо смазывающий, и то в недостаточной степени.

При выборе субстанции СОТС для двучелевой модернизации однозначно предпочтительны масляные, поскольку уже имея относительно высокую смазывающую способность они позволяют, за счет применения

эндотермического эффекта, предложенного нами ранее, улучшать и охлаждающую способность СОТС на водной основе для двуцелевой модернизации, по нашей оценке, не пригодны. Двойная цель модернизации побуждает к поиску присадки также двойного действия, которая бы улучшая смазывающие (триботехнологические) свойства масляной субстанции СОТС, существенно повышала бы и охлаждающее действие.

2. Анализ литературы

Общепризнанно [1-7], что стойкость инструмента может быть увеличена снижением температуры в зоне резания и улучшением там же триботехнологической обстановки за счет применяемого СОТС.

Накоплен значительный опыт по активации СОТС внешними энергетическими воздействиями, позволяющий локально в зоне резания изменять его свойства. Электрическая активация позволяет главным образом повышать проникающую способность СОТС [8-21]. Ультразвуковая обработка [22-27] ликвидирует паровоздушные пузырьки в порах абразивного инструмента, улучшая тем самым режим охлаждения шлифовальных кругов. Активация СОТС постоянными магнитами [28-30] дала противоречивые результаты.

Нами ранее [31, 32] была предложена возможность повышения охлаждающей способности масляных СОТС путем введения в них присадки в виде кристаллогидратов. Такие присадки к масляным СОТС дают эндотермический результат, способствующий только улучшению ее охлаждающей способности.

Была выдвинута гипотеза [33, 34] о приемлемости для использования в качестве присадки двойного действия к масляной субстанции СОТС в виде наноглинистого минерала – монтмориллонита. Первый – триботехнологический эффект получил экспериментальное подтверждение. Второй – эндотермический эффект теоретически рассматривается как вполне осуществимый.

В моторных маслах используются присадки – модификаторы трения. наиболее из-

вестные из них это графит и дисульфид молибдена. уникальные свойства этих присадок объясняется плоской гексагональной структурой их кристаллических решеток. расстояние между ближайшими атомами одной плоскости у графита равно 1,42 Å, а расстояние между соседними плоскостями значительно больше и составляет 3,4 Å [35]. следовательно, каждая кристаллическая плоскость графита работает как почти изолированная система атомов расположенных параллельно одна над другой.

Дополнительный эффект смазочного действия графита основан на том, что при нормальных температурных условиях молекулы воды из атмосферы сорбируются между его кристаллическими плоскостями и дополнительно расслабляют межплоскостные связи. Поэтому при температурах выше 100 °С, из-за испарения сорбированной воды, смазочные свойства графита падают на порядок ниже. По данным [36] коэффициент трения поверхностей графита, при наличии сорбированной воды составляет около 0,05, а при обезвоживании повышается до 0,3.

Такая реакция графита на повышение температуры до 100 °С лишает его возможности применения в качестве искомой присадки к масляным СОТС, работающей при значительно больших температурах.

Нитрид бора имеет такую же структуру, в которой атомы В и N чередуются [35].

Не менее интересный модификатор трения (присадка) – дисульфид молибдена (MoS_2) имеет аналогичное строение решетки [36], но он не склонен к накоплению влаги между слоями, поэтому трение между его кристаллическими решетками осуществляется в сухую. Следовательно, и с точки зрения возможности возникновения в нем эндотермического эффекта, и повышения триботехнологического эффекта СОТС, его присадка не даст полного ожидаемого эффекта. К тому же производство дисульфида молибдена, его стабилизация в объеме СОТС, сложный и дорогостоящий процесс [36].

В работе [37] предложено в качестве присадки к маслам использовать тонкоизмельченный природный или искусственный серпентин, позволяющий понизить коэффи-

циент трения. Механизм его действия аналогичен действию порошка дисульфида молибдена.

Анализ литературы позволяет отметить, что известные методы активации СОТС и известные присадки к масляным СОТС оставляют возможность дальнейшего модернизирования последних.

Цель статьи – показать возможность достижения двойного эффекта – триботехнологического и эндотермического, применением к масляной субстанции СОТС наноглинистой минеральной присадки.

3. Изложение основного материала

В качестве присадки к масляной субстанции СОТС нами предлагается наноглинистый минерал – монтмориллонит, добываемый карьерным способом, т.е. вполне доступный материал. Его наноструктура имеет особые свойства, связанные с наноразмерными эффектами.

Минерал монтмориллонит состоит из пакетов наноминералов, способных при предварительном гидрировании гидрорасклиниваться. Для нашего случая это появление между пакетами гидросмазки. Создаваемый таким образом межпакетный гидравлический клин имеет несоизмеримо большую несущую способность нежели свободная вода.

Толщина листовой структуры (пакетов) около 1,0 нм, а линейные размеры находятся в пределах 50...150 нм. Расстояние между пакетами при гидрировании может увеличиться до 2,14 нм [38]. Твердость монтмориллонита по минералогической шкале составляет – 1 [39].

Кристаллические решетки наночастиц монтмориллонита имеют отрицательный поверхностный заряд, способствующий образованию вокруг себя электростатического поля. Наноразмерность и чешуйчатая форма наночастиц определяет громадную величину их удельной поверхности, когда на 1 г минерала приходится сотни квадратных метров их поверхности. А четко выраженная полярность молекулы воды обуславливает эффект ее адсорбции на решетках наночастиц (ри-

сунок 1). При этом молекула воды в одном случае притягивается своим положительным полюсом (H^+ , H^+) к отрицательному иону наноглины, например, к кислороду, а в другом варианте своим отрицательным полюсом (O^{2-}) – к положительному, например, к кремнию, железу, либо алюминию. Эти силы электростатического притяжения имеют значительную энергию.

Следует особо подчеркнуть, что разрушение сорбционного слоя между пакетами возможно только если приложить внешнюю энергию, когда энергия теплового движения молекул превысит силы сцепления, т.е. когда гидрированный монтмориллонит в составе СОТС попадает в зону резания.

Температурное воздействие в зоне резания на предварительно расклиненные сорбированной водой пакеты НГМП ведет к интенсивному испарению влаги, обеспечивая этим для масляной субстанции СОТС эндотермический эффект. Пары воды остаются в масляной субстанции, а при снижении температуры вновь имеют возможность возвратиться в структуру НГМП.

Описанный процесс работает по аналогии с гидратацией-дегидратацией кристаллогидратов, описанный в работах [31, 35-38], но наноглинистые минералы проявляют эффект дегидратации намного активнее.

Термодинамический анализ [38] свидетельствует о том, что эндотермический эффект у монтмориллонита возникает обычно в интервале температур 50-200 °С, с максимумом при 99 °С.

Наиболее слабые молекулярные связи (рис. 1) при нагревании адсорбционного слоя воды до 80-100 °С обрываются первыми, т.е. идет первая ступень дегидратации НГМП. По мере роста температуры до 100-200 °С средние молекулярные связи обрываются вторыми. Более прочные молекулярные связи обрываются при достижении температуры 200 °С и т.д. Таким образом формируется ступенчатый эндотермический процесс дегидратации.

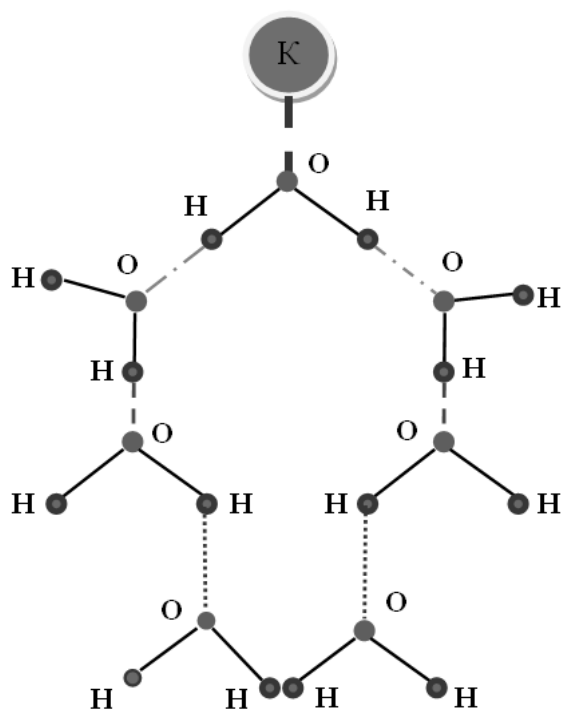


Рис. 1. Структурная форма адсорбционного слоя воды на поверхности пакетного монтмориллонита

К — катион металла на поверхности монтмориллонита (железо, магний, алюминий, калий, натрий, и др.);

..... — межмолекулярная связь молекулы воды со слабой связью, которая при нагревании (80-100 °) отрывается первой;

— — — — — межмолекулярная связь молекулы воды со средней связью, которая при нагревании (100-200 °) отрывается второй;

— · — · — межмолекулярная связь молекулы воды с более прочной связью, которая при нагревании (более 200 °) отрывается следующей;

■ ■ — электростатическая связь, гидроксильной группы;

— — — — — молекулярная связь молекул водорода с молекулой кислорода;

О — структурное положение молекулы воды на активной поверхности монтмориллонита

При формировании на кристаллических решетках наночастиц монтмориллонита адсорбционного слоя воды выделяется еще и теплота смачивания [40], которая для внутреннего (первого) слоя находится в пределах от 5 до 35 кДж/моль ($Q_{см.I}$), для второго 1,5 – 150 кДж/моль ($Q_{см.II}$), а для третьего и четвертого слоев от 0 до 4 кДж/моль ($Q_{см.III} + Q_{см.IV}$). Теплоту, выделяемую при смачивании в целом можно записать формулой

$$Q_{см.кр} = Q_{см.I} + Q_{см.II} + Q_{см.III} + Q_{см.IV} \quad (1)$$

Следовательно, для того чтобы наноглинистый минерал-монтмориллонит, будучи присадкой, проявлял эндотермические свойства, его необходимо предварительно, до введения в масляную субстанцию СОТС, гидрировать. Естественно, удаление адсорбционных слоев из пространства между кристаллических решеток, идет при поглощении того же количества теплоты. Чем больше теплоты потребляется на смачивание наноглинистой минеральной частицы при гидрировании, тем больше будет поглощено внешней теплоты при разрушении адсорбционного слоя. К нему же следует прибавить энергию испарения отрываемой от поверхности адсорбированной воды, которая составляет около 43 кДж/моль.

Таким образом энергия затрачиваемая на десорбцию воды, даже при стандартных условиях (298 К и $1 \cdot 10^5$ Па), может составлять 50 – 90 кДж/моль.

$$Q_{энд} = Q_{см.кр} + Q_{исп}. \quad (2)$$

Для сравнения отметим – теплообменный потенциал свободной воды в стандартных условиях составляет всего 75,31 Дж/моль.

В отличие от кристаллогидратов ранее предложенных нами в качестве эндотермической присадки – монтмориллонит химически и термически несравненно более устойчив, а это исключает вероятность налипания его на режущий инструмент.

Изучение дериватограммы монтмориллонита приведенной в работе [41] подтверждает, что первичный эндотермический эффект, вызванный удалением межпакетной (адсорбированной) воды происходит в температурном диапазоне 100 - 150 °С. Завершается удаление межпакетной воды в температурном интервале 500-600 °С.

Проверка на совместимость рабочей температуры СОТС в зоне резания (76...221 °С), замеренной экспериментально в работах [42, 43] с температурой дегидратации монтмориллонита приведенной выше показывает, что они вполне согласуются.

Особенность наноглинистой присадки при гидрировании к гидрорасклиниванию пакетов минералов поверхностно сорбированной водой, способствует достижению и второй поставленной цели – возможности межпакетного скольжения по образующейся гидросмазке, совершенствуя тем самым триботехнологические показатели масляной СОТС в целом (рис. 2).

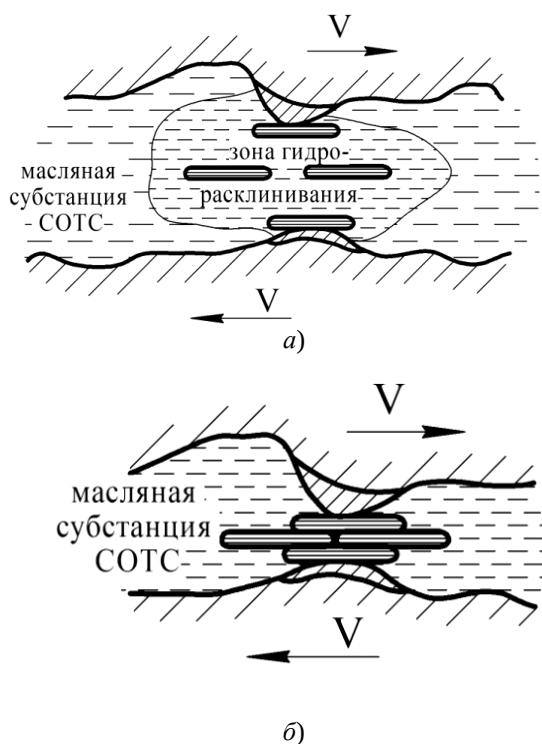


Рис. 2. Схема возможной реализации наноконтактного взаимодействия рабочей поверхности режущего инструмента и стружки при наличии в масляной субстанции СОТС: а) гидрированной НГМП; б) графита, дисульфида молибдена, либо серпентина

Анализ проведенных экспериментальных станочных испытаний, на примере процесса сверления различных конструкционных материалов [44, 45], подтвердил выдвинутую гипотезу об улучшении триботехнологических и эндотермических свойств масляно-наноглинистых композиций СОТС. Отмечено существенное повышение стойкости сверла за счет снижения осевой силы резания и крутящего момента. НГМП к масляной СОТС положительно влияет на формирование стружки, улучшает значения шероховатости обработанных поверхностей.

Выводы

1. Известные сухие смазки, используемые в качестве присадок – модификаторов трения к смазочным маслам, не обладают теплопоглощающей способностью, а их антифрикционные и противоизносные свойства у одних (графит) проявляются при относительно низких температурах (до 100 °С), когда в трении их кристаллических решеток участвует сорбированная вода, у других (дисульфид молибдена, серпентин) трение между кристаллическими решетками осуществляется в «сухую».

2. Важнейшим свойством наноглинистых минералов является способность ее пакетов, при предварительном гидрировании к гидрорасклиниванию поверхностно сорбированной водой. В результате обеспечивается возможность межпакетного скольжения за счет образующейся гидросмазки, улучшая тем самым триботехнологические и противозадирные свойства масляной СОТС в целом.

3. С точки зрения пригодности наноглинистых минералов, в частности монтмориллонита, как присадки к масляным СОТС для повышения теплоотвода из зоны резания, они характеризуются высокой теплоемкостью водной фазы граничного слоя (зоны гидрорасклинивания) в сравнении с объемной водой. К тому же обладают не менее важным для присадки к масляным СОТС – эндотермическим свойством.

4. Нагрев в зоне резания наночастиц монтмориллонита, присаженного в масляную субстанцию СОТС, ведет к интенсивному испарению из него влаги, что и обеспечит эндотермический эффект СОТС в целом.

5. Температурный диапазон проявления монтмориллонитом эндотермического эффекта вполне совместим с рабочей температурой СОТС в зоне резания при сверлении.

6. При выходе СОТС с НГМП из зоны резания разрушенный граничный адсорбционный слой воды может восстанавливаться (регидрироваться), выделяя в окружающую среду энергию адекватную полученной при контакте с нагретой поверхностью инструмента, которая будет конвективно распределяться в объеме СОТС и выводится из системы в окружающую среду.

Список литературы

1. Виноградов Д.В. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов: учебное пособие по курсу «Инструментообеспечение машиностроительных предприятий» / Д.В. Виноградов. – Ч.1: Функциональные действия. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 90 с.
2. Meister, B. E. The identification of desirable parameters for aluminium cutting using various cutting fluids and limited volume lubrication: a dissertation for the degree master of engineering / B. E. Meister. – Pretoria, Republic of South Africa, 2002. – 145 P.
3. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
4. Graham T. Smith. Cutting Tool Technology. Industrial Handbook. Southampton.: Southampton Solent University (U.K.), 2008. 599 p.
5. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя. – М. Машиностроение, 2000. 208 с.
6. Шустер Л. Ш., Крюк Н. К. Высокотемпературная триботехника в машиностроении // Триботех 2003. – М., 2003. С. 24 – 25.
7. Якубов Ч.Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч.Ф. Якубов. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.
8. Рутман П.А. Исследование влияния электрокапиллярного понижения прочности на процессы микрорезания и абразивной обработки материалов: автореф. дис. ... канд. хим. наук 02.00.11. – М.: МГУ, 1977. – 16 с.
9. Годлевский В.А. Исследование возможности активизации смазочно-охлаждающих жидкостей методом поверхностного электрического заряжения зоны резания: дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 1982. – 250 с.
10. Годлевский В.А. О взаимодействии СОЖ с электрически заряженной поверхностью металла / В.А. Годлевский // Физико-химическая механика процесса трения. – Иваново, 1978. – С. 30–36.
11. А. С. № 210609 СССР, МКИ² В 23 В. Способ охлаждения и смазки распыленными ионизированными жидкостями / Горбунова Е.В., Латышев В.Н., Солодихин А.И. (СССР). – № 1037928/25-8; заявл. 05.04.67; опубл. 06.02.68. Бюл. № 6.
12. Клушин М.Н. К вопросу о повышенной эффективности распыленных смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов / М.Н. Клушин, В.В. Подгорков // Вопросы теории трения, смазки и обрабатываемости металлов. – Чебоксары: ЧувГУ, 1972. – С. 75–82.
13. Подгорков В.В. Влияние электризации распыленных жидкостей на эффективность их действия / В.В. Подгорков // Станки и инструмент, 1966. – № 8. – С. 12–16.
14. Верещагин А.Н. Поляризация молекул / А.Н. Верещагин. – М.: Наука, 1980. – 176 с.
15. Красиков Н.Н. К формирования граничного масляного слоя / Н.Н. Красиков // Трение и износ. – 1980. – Т.1, № 3. – С. 472–475.
16. Кретинин О.В. Количественная оценка воздействия импульсного давления технологической среды на процесс резания / О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Опыт применения новых смазочно-охлаждающих технологических сред при обработке металлов резанием: тез. докл. Всесоюз. научно-техн. семинара. – Горький, 1987. – С. 39–40.
17. Худобин Л.В. О возможности активации СОЖ импульсными электрическими полями / Л.В. Худобин, В.Ф. Жданов // Чистовая обработка деталей машин. – Саратов: СПИ, 1980. – С. 49–53.
18. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОТС / В.Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1975. – 88 с.
19. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки : учебное пособие / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К. ; Одесса : Лыбидь, 1991. – 240 с.
20. Малов А.В. Влияние наложения электрического тока на СОТС при точении металлов / А.В. Малов // Физико-химическая механика процесса трения. – Иваново: ИвГУ, 1978. – С. 79–83.
21. Venkatesh V.C. On a diffusion wear model for high speed tools / V.C. Venkatesh // Trans ASME Journal of Lubrication Technology. – 1978. – V. 100. – № 2. P. 436–441.
22. Умаров Э.А. Влияние гамма-облучения эмульсола на износ резцов и чистоту обработанной поверхности / Э.А. Умаров, Н.М. Швердина, Г.И. Якунин // Труды Ташкентского политехн. инст. Вып. 137. Ташкент, 1974. – С. 124–126.
23. Худобин Л.В. Влияние физико-химической активации на свойства СОЖ / Л.В. Худобин, В. И. Костельникова, Р.К. Луке // Рукопись представлена журналом «Физико-химическая механика материалов». Деп. в ВИНТИ 10.06.80. № 4439–80 ДЕП.
24. Касьян М.В. Влияние активации неактивных сред на показатели процесса резания / М.В. Касьян, Ф.А. Парикян, Г.С. Овсепян // Вопросы теории действия СОТС в процессах обработки металлов резанием. – Горький, 1975. – Ч.1. – С. 100–103.
25. Елимзаров А.И. О механизме охлаждающего действия СОЖ / А.И. Елимзаров, Н.Г. Антонова // Обработка металлов резанием с применением СОЖ: материалы научно-техн. семин. – М.: МДНТПД, 1987. – С. 64–69.
26. Кисилев Е.С. Эффективность ультразвуковой техники подачи СОЖ на операции шлифования / Е.С. Кисилев, А.Н. Унянин // Смазочно-охлаждающее технологическое средства при механической обработке заготовок из различных материалов: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Ульяновск, 1993. – С. 67–68.
27. Худобин Л.В. Совмещенное шлифование с

- наложением звуковых колебаний на СОЖ / Л.В. Худобин, Е.С. Кисилев., С.А. Кобелев // Станки и инструмент. – 1980. – № 3. – С. 25–27.
28. Сучков Н.Ф. Изучение влияния магнитной активации СОЖ на процесс резания / Н.Ф. Сучков, В.Н. Латышев // Труды Ивановского текстильного института. Вып. 8. – Иваново, 1966. – С. 6–11.
29. Булыжнев Е.М. К вопросу оптимизации режимов работы аппаратов для магнитной обработки СОЖ, загрязненных механическими примесями при шлифовании / Е.М. Булыжнев // Физико-химическая механика против трения. – Иваново, Изд-во Ивановского госуд. ун-та, 1977. – С. 63–65.
30. Макаров В.Н. Магнитная обработка СОЖ при точении / В.Н. Макаров, И.И. Журавлев, Ю.А. Герасимов // Повышение качества деталей в машиностроении технологическими методами. – Рыбинск, 1980. – С. 25–29.
31. Абдулгасис Д. У. Использование эндотермического эффекта дегидратации кристаллогидратов для повышения теплоотводящей способности СОТС на основе растительных масел / Абдулгасис Д. У. // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2005. – Вип. 2(11). – С. 3-8.
32. Абдулгасис Д. У. Стендовая и станочная оценка эффективности эндотермической масляной СОТС / Д. У. Абдулгасис, Э. Д. Умеров // Ученые записки Крымского инж.-пед. ун-та. Вып. 29 [«Технические науки»] – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2011. – С.62-67.
33. Абдулгасис Д.У. Экспериментальные исследования эффективности масляной СОТС с присадкой наноглинистых минералов листовой структуры / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – С.3-9.
34. Умеров Э.Д. Экспериментальная оценка результативности присадки наноглинистых минералов слоистой структуры к масляным СОТС / Э.Д. Умеров, Д.У. Абдулгасис, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 46. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2014. – С. 68-73.
35. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. Физика химической связи. – Т.1 (первод с английского) – М.: Мир, 1983. – 463 с.
36. Механизм действия модификатора трения – дисульфида молибдена [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.avsta.ru/files/flib/35.pdf>
37. Зарубин В.П. Разработка и исследование триботехнических свойств смазочных материалов наполненных порошками геомодификаторов трения: автореф. дис. канд. техн. наук. – Иваново, 2007. –16 с.
38. Структурные формы и подвижность молекулярной воды в монмориллоните [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/rus/home.htm/
39. Соколов В.Н. Глинистые породы и их свойства / В.Н. Соколов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 9. – С. 59-65.
40. Чураев Н.В. Физико-химия процессов массопереноса в пористых телах / Н.В. Чураев. М.: Химия, 1990. – 272 С.
41. Горюшкин В.В. Технологические свойства бентонитов палеоцена Воронежской антеклизы и возможности их изменения / В.В. Горюшкин // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. № 1. – С.166-177.
42. Солоненко В.Г. Повышение работоспособности режущих инструментов / В.Г. Солоненко. – Краснодар, Ростов-на-Дону: Кубанский государственный технологический ун-т, Северо-Кавказский отдел Академии проблем качества РФ, 1997. – 223 с.
43. Солоненко В.Г. Работоспособность шнековых сверл / В.Г. Солоненко, М.Г. Серикова, Л.А. Солоненко. – Краснодар: Кубанский государственный технологический ун-т, 2004. – 108 с.
44. Абдулгасис Д.У. Экспериментальные исследования эффективности масляной СОТС с присадкой наноглинистых минералов листовой структуры / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – С.3-9.
45. Абдулгасис Д.У. Триботехнологические особенности применения наноглинистых минеральных присадок к масляным СОТС при лезвийной обработке конструкционных материалов / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, РИО КИПУ № 1(49), 2015. – С.85-90.

References

1. Vinogradov D.V. Primenenie smazochno-okhlazhdaiushchikh tekhnologicheskikh sredstv pri rezanii metallov: uchebnoe posobie po kursu «Instrumentoobespechenie mashinostroitel'nykh predpriatii» / D.V. Vinogradov. – Ch.1: Funktsional'nye deistviia. – M.: Izd. MGTU im. N.E. Bauman, 2013. – 90 s.
2. Meister, B. E. The identification of desirable parameters for aluminium cutting using various cutting fluids and limited volume lubrication: a dissertation for the degree master of engineering / B. E. Meister. – Pretoria, Republic of South Africa, 2002. – 145 P.
3. Smazochno-okhlazhdaiushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primenenie pri obrabotke rezaniem: Spravochnik / L.V. Khudobin, A.P. Babichev, E.M.

- Bulyzhev i dr. / Pod obshch. red. L.V. Khudobina. – M.: Mashinostroenie, 2006. – 544 s.
4. Graham T. Smith. Cutting Tool Technology. Industrial Handbook. Southampton.: Southampton Solent University (U.K.), 2008. 599 p.
 5. Suslov A.G. Kachestvo poverkhnostnogo sloia. – M. Mashinostroenie, 2000. 208 s.
 6. Shuster L. Sh., Krioni N. K. Vysokotemperaturnaia tribotekhnika v mashi-nostroenii // Tribotekh 2003. – M., 2003. S. 24 – 25.
 7. Iakubov Ch.F. Uprochniaiushchee deistvie SOTS pri obrabotke metallov rezaniem / Ch.F. Iakubov. – Simferopol: OAO «Simferopol'skaia gorodskaa ti-pografiia», 2008. – 156 s.
 8. Rutman P.A. Issledovanie vliianiia elektrokapilli-arnogo ponizheniia prochnosti na protsessy mikrozrezaniia i abrazivnoi obrabotki materialov: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk 02.00.11. – M.: MGU, 1977. – 16 s.
 9. Godlevskii V.A. Issledovanie vozmozhnosti aktivizatsii smazочно-okhlazhdaiushchikh zhidkosti metodom poverkhnostnogo elektricheskogo zariazheniia zony rezaniia: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Ivanovo, 1982. – 250 s.
 10. Godlevskii V.A. O vzaimodeistvii SOZh s elektrich-eski zariazhennoi poverkhnost'iu metalla / V.A. Godlevskii // Fiziko-khimicheskaiia mekhanika protsessa treniia. – Ivanovo, 1978. – S. 30–36.
 11. A. S. № 210609 SSSR, MKI2 V 23 V. Sposob okhlazhdeniia i smazki raspylennymi ioniziro-vannymi zhidkostiami / Gorbunova E.V., Latyshev V.N., Solodikhin A.I. (SSSR). – № 1037928/25-8; zaiavl. 05.04.67; opubl. 06.02.68. Biul. № 6.
 12. Klushin M.N. K voprosu o povyshennoi effektivnos-ti raspylennykh smazочно-okhlazhdaiushchikh zhidkosti pri rezanii metallov / M.N. Klushin, V.V. Podgorkov // Voprosy teorii treniia, smazki i obrabatyvaemosti metallov. – Cheboksary: Chu-vGU, 1972. – S. 75–82.
 13. Podgorkov V.V. Vliianie elektrizatsii raspylennykh zhidkosti na effektivnost' ikh deistviia / V.V. Podgor-kov // Stanki i instrument, 1966. – № 8. – S. 12–16.
 14. Vereshchagin A.N. Poliarizatsiia molekul / A.N. Vereshchagin. – M.: Nauka, 1980. – 176 s.
 15. Krasikov N.N. K formirovaniia granichnogo masli-anogo sloia / N.N. Krasikov // Trenie i iznos. – 1980. – T.1, № 3. – S. 472–475.
 16. Kretinin O.V. Kolichestvennaia otsenka vozdeistviia impul'snogo davleniia tekhnologicheskoi sredy na protsess rezaniia / O.V. Kretinin, A.A. Moskvichev // Opyt primeneniia novykh smazочно-okhlazhdaiushchikh tekhnologicheskikh sred pri obrabotke metallov rezaniem: tez. dokl. Vsesoiuzn. nauchno-tekhn. seminar. – Gor'kii, 1987. – S. 39–40.
 17. Khudobin L.V. O vozmozhnosti aktivatsii SOZh impul'snymi elektricheskimi poliami / L.V. Khudo-bin, V.F. Zhdanov // Chistovaia obrabotka detalei mashin. – Saratov: SPI, 1980. – S. 49–53.
 18. Latyshev V.N. Povyshenie effektivnosti SOTS / V.N. Latyshev. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 88 s.
 19. Iakimov A.V. Teplofizika mekhanicheskoi obrabotki: uchebnoe posobie / A.V. Iakimov, P.T. Slobodianik, A.V. Usov. – K.; Odessa : Lybid', 1991. – 240 s.
 20. Malov A.V. Vliianie nalozheniia elektricheskogo toka na SOTS pri tochenii metallov / A.V. Malov // Fiziko-khimicheskaiia mekhanika protsessa treniia. – Ivanovo: IvGU, 1978. – S. 79–83.
 21. Venkatesh V.C. On a diffusion wear model for high speed tools / V.C. Venkatesh // Trans ASME Journal of Lubrication Technology. – 1978. – V. 100. – № 2. P. 436–411.
 22. Umarov E.A. Vliianie gamma-oblucheniia emul'sola na iznos reztsov i chistotu obrabotannoi poverkhnos-ti / E.A. Umarov, N.M. Sheverdina, G.I. Iakunin // Trudy Tashkentskogo politekhn. inst. Vyp. 137. Tashkent, 1974. – S. 124–126.
 23. Khudobin L.V. Vliianie fiziko-khimicheskoi ak-tivatsii na svoistva SOZh / L.V. Khudobin, V. I. Kostel'nikova, R.K. Luke // Rukopis' predstavlena zhurnalom «Fiziko-khimicheskaiia mekhanika mate-rialov». Dep. v VINITI 10.06.80. № 4439–80 DEP.
 24. Kas'ian M.V. Vliianie aktivatsii neaktivnykh sred na pokazateli protsessa rezaniia / M.V. Kas'ian, F.A. Parikian, G.S. Ovsepian // Voprosy teorii deistviia SOTS v protsessakh obrabotki metallov rezaniem. – Gor'kii, 1975. – Ch.1. – S. 100–103.
 25. Elimzarov A.I. O mekhanizme okhlazhdaiushchego deistviia SOZh / A.I. Elimzarov, N.G. Antonova // Obrabotka metallov rezaniem s primeneniem SOZh : materialy nauchno-tekhn. semin. – M.: MDNTPD, 1987. – S. 64–69.
 26. Kisilev E.S. Effektivnost' ul'trazvukovoi tekhniki podachi SOZh na operatsii shlifovaniia / E.S. Kisi-lev, A.N. Unianin // Smazочно-okhlazhdaiushchee tekhnologicheskoe sredstva pri mekhanicheskoi obrabotke zagotovok iz razlichnykh materialov : tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – Ul'ianovsk, 1993. – S. 67–68.
 27. Khudobin L.V. Sovmeshchennoe shlifovanie s na-lozheniem zvukovykh kolebaniia na SOZh / L.V. Khudobin, E.S. Kisilev., S.A. Kobelev // Stanki i in-strument. – 1980. – № 3. – S. 25–27.
 28. Suchkov N.F. Izuchenie vliianiia magnitnoi ak-tivatsii SOZh na protsess rezaniia / N.F. Suchkov, V.N. Latyshev // Trudy Ivanovskogo tekstil'nogo in-stituta. Vyp. 8. – Ivanovo, 1966. – S. 6–11.
 29. Bulyzhnev E.M. K voprosu optimizatsii rezhimov raboty apparatov dlia magnitnoi obrabotki SOZh, zagriaznennykh mekhanicheskimi primesiami pri shlifovanii / E.M. Bulyzhnev // Fiziko-khimicheskaiia mekhanika protiv treniia. – Ivanovo, Izd-vo Ivanovskogo gosud. un-ta, 1977. – S. 63–65.
 30. Makarov V.N. Magnitnaia obrabotka SOZh pri tochenii / V.N. Makarov, I.I. Zhuravlev, Iu.A. Gerasimov // Povyshenie kachestva detalei v mashi-nostroenii tekhnologicheskimi metodami. – Ry-binsk, 1980. – S. 25–29.
 31. Abdulgazis D. U. Ispol'zovanie endotermicheskogo effekta degidratatsii kristallogidratov dlia povyshe-niia teplootvodiashchei sposobnosti SOTS na os-

- nove rastitel'nykh masel / Abdulgazis D. U. // Visoki tekhnologii v mashinobuduvanni: Zbirnik naukovikh prats' NTU «KhPI». – Kharkiv, 2005. – Vip. 2(11). – S. 3-8.
32. Abdulgazis D. U. Stendovaia i stanochnaia otsenka effektivnosti endotermicheskoi maslianoi SOTS / D. U. Abdulgazis, E. D. Umerov // Uchenye zapiski Krymskogo inzh.-ped. un-ta. Vyp. 29 [«Tekhnicheskies nauki»] – Simferopol': NITs KIPU, 2011. – S.62-67.
 33. Abdulgazis D.U. Eksperimental'nye issledovaniia effektivnosti maslianoi SOTS s prisadkoi nanoglinistykh mineralov listovoi struktury / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, E.E. Iag'iaev, S.R. Memetov, U.A. Abdulgazis // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. – Khar'kov: NTU «KhPI», 2013. – Vyp. 83. – 313 s. S.3-9.
 34. Umerov E.D. Eksperimental'naia otsenka rezul'tativnosti prisadki nanoglinistykh mineralov sloistoi struktury k maslianykh SOTS / E.D. Umerov, D.U. Abdulgazis, U.A. Abdulgazis // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Vyp. 46. Tekhnicheskies nauki. – Simferopol': NITs KIPU, 2014. – S. 68-73.
 35. Kharrison U. Elektronnaia struktura i svoistva tverdykh tel. Fizika khimicheskoi svyazi. – T.1 (pervod s angliiskogo) – M.: Mir, 1983. – 463 s.
 36. Mekhanizm deistviia modifikatora treniia – disul'fi-da molibdena [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.avsta.ru/files/flib/35.pdf>
 37. Zarubin V.P. Razrabotka i issledovanie tribotekhnicheskikh svoistv smazochnykh materialov napolnennykh poroshkami geomodifikatorov treniia: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Ivanovo, 2007. –16 s.
 38. Strukturnye formy i podvizhnost' molekuliarnoi vody v monmorillonite [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/rus/home.htm/
 39. Sokolov V.N. Glinistye porody i ikh svoistva / V.N. Sokolov // Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal. – 2000. – T. 6. – № 9. – S. 59-65.
 40. Churaev N.V. Fiziko-khimiia protsessov mas-sopere nosa v poristykh telakh / N.V. Churaev. M.: Khimiia, 1990. – 272 S.
 41. Goriushkin V.V. Tekhnologicheskies svoistva bentonitov paleotsena Voronezhskoi anteklizy i vozmozhnosti ikh izmeneniia / V.V. Goriushkin // Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya. 2005. № 1. – S.166-177.
 42. Solonenko V.G. Povyshenie rabotosposobnosti rezhushchikh instrumentov / V.G. Solonenko. – Krasnodar, Rostov-na-Donu: Kubanskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii un-t, Severo-Kavkazskii otdel Akademii problem kachestva RF, 1997. – 223 s.
 43. Solonenko V.G. Rabotosposobnost' shnekovykh sverl / V.G. Solonenko, M.G. Serikova, L.A. Solonenko. – Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii un-t, 2004. – 108 s.
 44. Abdulgazis D.U. Eksperimental'nye issledovaniia effektivnosti maslianoi SOTS s prisadkoi nanoglinistykh mineralov listovoi struktury / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, E.E. Iag'iaev, S.R. Memetov, U.A. // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. – Khar'kov: NTU «KhPI», 2013. – Vyp. 83. – S.3-9.
 45. Abdulgazis D.U. Tribotekhnologicheskies osobennosti primeneniia nanoglinistykh mineral'nykh prisadok k maslianykh SOTS pri lezviinoi obrabotke konstruktsionnykh materialov / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, G.P. Podznoev, U.A. Abdulgazis // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta, RIO KIPU № 1(49), 2015. – S.85-90.

УДК 35.088.2:331.46

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КРЫМУ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАВМАТИЗМА И ПРОФЗАБОЛЕВАЕМОСТИ

Е.И. Азаренко¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

По данным статистических наблюдений Федеральной службы государственной статистики анализируется динамика показателей частоты и тяжести производственного травматизма и профзаболеваемости в Республике Крым. Выполнен обзор показателей травматизма, профзаболеваемости и их динамики, применяемых в России и за рубежом, а также их выбор для решения задачи исследования. Произведена оценка ошибки среднесрочного прогноза таких показателей в Крыму. Определены тенденции изменения основных показателей промышленной безопасности в Крыму с применением технологии трендового моделирования и исследования кинематических характеристик производственного травматизма и профзаболеваемости. Рассмотрены возможные причины выявленных изменений уровня промышленной безопасности в Крыму.

Ключевые слова: промышленная безопасность, производственный травматизм, профессиональная заболеваемость, статистические показатели, анализ.

INVESTIGATION OF INDUSTRIAL SAFETY LEVEL IN THE CRIMEA BASED ON THE ANALYSIS OF TRAUMATISM STATISTICAL INDICATORS AND OCCUPATIONAL DISEASES

E.I. Azarenko¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

According to the statistical observations of the Federal State Statistics Service, the dynamics of the frequency and severity indices of industrial injuries and occupational diseases in the Republic of Crimea is analyzed. The review of the indices of injuries, occupational diseases and their dynamics, applied in Russia and abroad, as well as their choice for the solution of the research task was performed. An error was estimated for the medium-term prognosis of such indicators in the Crimea. The trends in the change of the basic indices of industrial safety in the Crimea are determined using the technology of trend modeling and investigation of the kinematic characteristics of industrial injuries and occupational diseases. The possible reasons for the revealed changes in the level of industrial safety in the Crimea are considered.

Keywords: industrial security, industrial injuries, occupational disease, statistical indices, analysis.

Введение

Избежать аварий, травматизма, развития профзаболеваний в условиях современного производства пока не удастся и важной задачей в обеспечении промышленной безопасности, решение которой необходимо для достижения основной цели – сохранения трудового потенциала страны, является комплексный анализ динамики показателей производственного травматизма и профзаболеваемости как основа для эффективного

управления промышленной безопасностью. В Крыму этой проблеме уделяется серьезное внимание. В апреле 2017 г. на заседании Межведомственной комиссии по охране труда при Совете министров Республики Крым заместитель Председателя Совета министров Алла Пашкунова подчеркнула: «В Российской Федерации уровень производственного травматизма практически равен европейским показателям. Так, за последние 4 года уровень травматизма снизился на 40 %. В этом смысле Республика Крым будет стремиться к таким же результатам» [1].

Обсуждение и результаты

В настоящее время в отечественной и международной практике оценки уровня безопасности труда применяется ряд показателей травматизма [2], взаимосвязь между которыми представлена в (табл.1).

Таблица 1. Статистические показатели травматизма

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ			РОССИЙСКИЕ АНАЛОГИ		
Fatality	LTI	TRC	К _ч	К _п	К _с
PTD и PPD	LTIF	TRCF			К _т
LWC					
RWC					
MTC					
FAC					
NM					

В (табл.1) использованы следующие обозначения: Fatality – несчастный случай (НС) со смертельным исходом; PTD и PPD – НС с постоянной общей или частичной утратой трудоспособности; LWC – НС с потерей рабочего времени; RWC – НС с ограничением трудоспособности; MTC – НС с медицинским лечением; FAC – НС с оказанием первой медицинской помощи; NM – происшествие; LTI – количество случаев потери рабочего времени; LTIF – частота случаев с потерей рабочего времени; TRC – общее количество регистрируемых НС; TRCF – частота общего количества регистрируемых травм; К_ч – коэффициент частоты производственного травматизма (ПТ); К_п – коэффициент потерь ПТ; К_с – коэффициент смертности от НС; К_т – коэффициент тяжести ПТ.

Однако, как показывает опыт, применение только стандартных абсолютных и относительных статистических показателей для решения задач прогноза и предупреждения травматизма оказывается недостаточным. Например, в Крыму в 2014 году была разработана и принята «Государственная программа по улучшению условий и охраны труда Республики Крым на 2015 – 2017 годы» [3], которая в дальнейшем послужила основой Подпрограммы 2 «Улучшение условий и охраны труда Республики Крым на 2015-2017 годы» «Государственной про-

граммы труда и занятости населения Республики Крым на 2015-2017 годы» [4].

Программа [3] содержит прогноз состояния производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и условий труда, выполненный на основе анализа тенденций по основным статистическим показателям с учетом прогноза занятости по видам экономической деятельности в Республике Крым в среднесрочной перспективе. Анализ качества прогноза представлен в (табл. 2 – 3).

Таблица 2. Промежуточные итоги программы [3]

Показатель**	Значение						
	Прогнозируемое [3] в 2014 г. на год				Фактически достигнутое*		
	2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016
К _ч	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7
К _с	11	11	10	9	9	12	13
К _{ч1}	210	209	196	189	79	118	129
К _т	46	45,3	44,1	42,8	54,5	49,1	50,1
К _{пз}	5	5	4	3	0	5	0

*По данным Федеральной службы государственной статистики, содержащимся в Единой межведомственной информационно – статистической системе (ЕМИСС) и представляющим официальную статистическую информацию, формируемую субъектами статистического учета в рамках Федерального плана статистических работ [5-7].

Таблица 3. Показатели качества прогноза

Показатель**	Отклонение фактического значения от прогнозного, %		
	2014	2015	2016
К _ч	-33	-22	-13
К _с	-18	9	30
К _{ч1}	-62	-44	-34
К _т	18	8	14
К _{пз}	-100	0	-100

**В (табл. 2 и 3) приведены следующие показатели, выбранные для исследования: К_ч – численность пострадавших на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом в расчете на 1000 работающих;

K_c – численность пострадавших в результате несчастных случаев на производстве со смертельным исходом, чел.;

$K_{ч1}$ – численность пострадавших в результате несчастных случаев на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, чел.;

K_T – количество дней временной нетрудоспособности в связи с несчастным случаем на производстве в расчете на 1 пострадавшего, дней;

$K_{пз}$ – численность лиц с установленным в отчетном году профессиональным заболеванием, чел.

Как видно из полученных результатов, уровень реализации прогнозов остается невысоким. Большие возможности для изучения динамики травматизма, а, следовательно, и повышения качества прогнозов, дает введение кинематических характеристик травматизма (КХТ), предложенных для анализа характера и специфики развития этого сложного процесса в работах [8-10].

Суть метода состоит в построении графиков аналогов скорости и ускорения «движения» травматизма и их анализе во взаимосвязи и в комплексе с абсолютными показателями.

Рассматриваемый метод был с успехом использован в Мурманской области в 2009г. при оценке состояния и условий охраны труда [11].

Использование нестандартных показателей не противоречит ГОСТ Р 12.0.010-2009 [12] и допустимо при оценке профессионального риска с учетом ПТ.

Применение методологии КХТ при изучении динамики травматизма может быть основано на графоаналитическом дифференцировании как для фактических годовых данных, так и для трендовых моделей. Недостатком первого варианта решения является отсутствие оценки ускорения процесса [11]. При втором варианте отрицательным является то, что мы получим усредненный (сглаженный) характер развития процесса,

без учета колебаний скорости и ускорения. Для преодоления этого недостатка авторами методики предлагается использовать тренд совместно с вариацией (модель – ряд Фурье), оцениваемой по квартальным данным о травматизме [11]. Однако сбор и обработка такой подробной информации существенно увеличивают трудоемкость исследований.

Изменение показателей травматизма и профзаболеваемости в Крыму, а также их КХТ, построенных для трендовых моделей, представлены на (рис. 1 – 4).

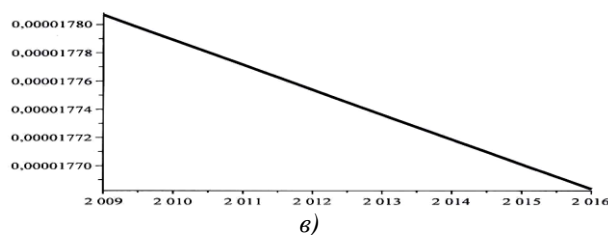
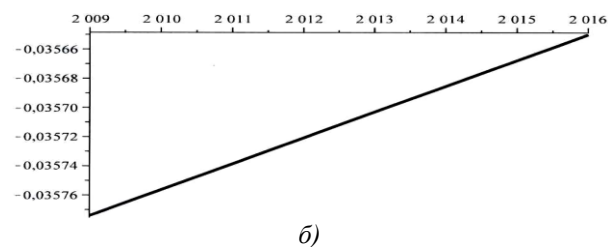
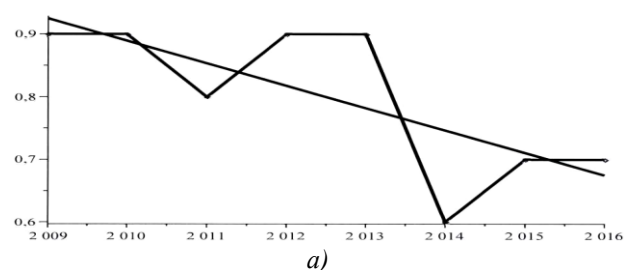


Рис. 1. Динамика K_c в Крыму в 2009-2016 гг.:
а) изменение абсолютного значения показателя, тренд $y=547,53-71,87\ln(x)$, коэфф. детерминации 0,54;
б) скорость процесса изменения K_c : $v=-71,87x^{-1}$
в) ускорение процесса изменения K_c : $a=71,87x^{-2}$

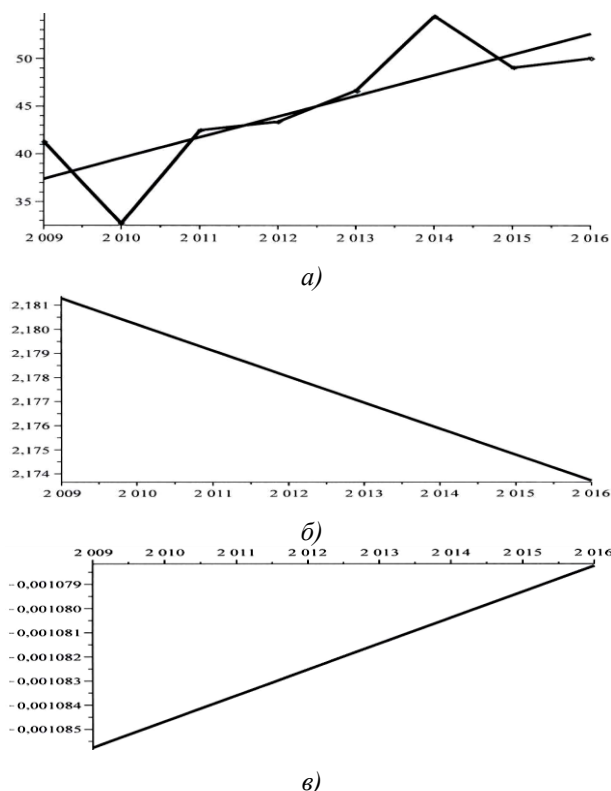


Рис. 2. Динамика K_T в Крыму в 2009-2016 гг.:

- а) изменение абсолютного значения показателя, тренд $y=4382,21 \ln(x)-33291,87$, коэфф. детерминации 0,64;
 б) скорость процесса изменения K_T : $v=4382,21x^{-1}$
 в) ускорение процесса изменения K_T : $a=-4382,21x^{-2}$

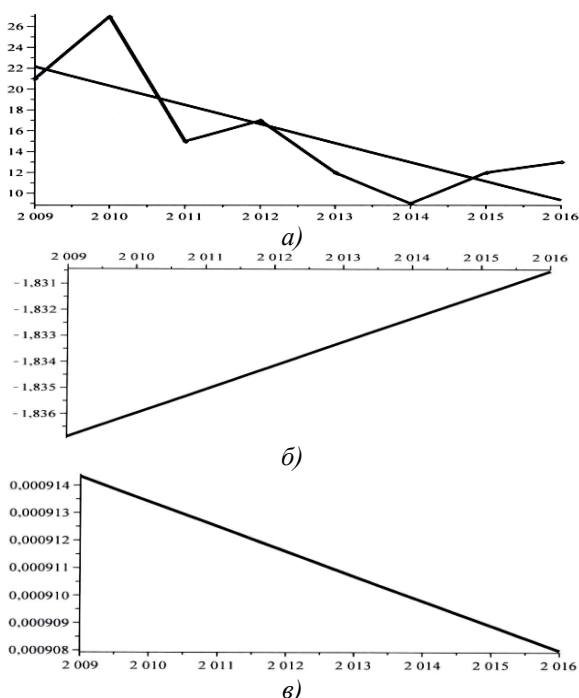


Рис. 3. Динамика K_C в Крыму в 2009-2016 гг.:

- а) изменение абсолютного значения показателя, тренд $y=28088,30-3690,29 \ln(x)$, коэфф. детерминации 0,59;
 б) скорость процесса изменения K_C : $v=-3690,29x^{-1}$
 в) ускорение процесса изменения K_C : $a=3690,29x^{-2}$

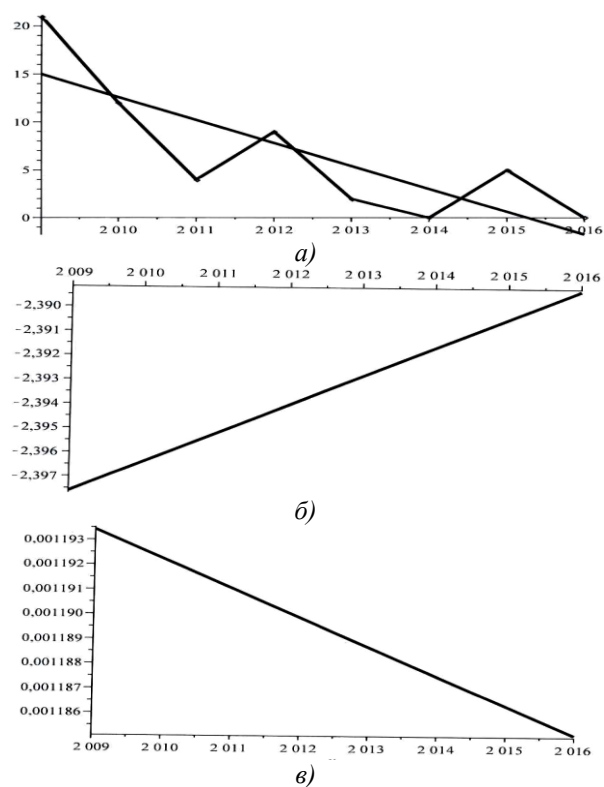


Рис. 4. Динамика K_{P3} в Крыму в 2009-2016 гг.:

- а) изменение абсолютного значения показателя, тренд $y=36648,47-4816,78 \ln(x)$, коэфф. детерминации 0,67;
 б) скорость процесса изменения K_C : $v=-4816,78x^{-1}$
 в) ускорение процесса изменения K_C : $a=4816,78x^{-2}$

Выводы

Исследование динамики производственного травматизма и профзаболеваемости в Крыму в 2009-2016 гг. на основе построения КХТ для трендовых моделей позволило получить следующие результаты:

1. Расчет коэффициентов детерминации для разных видов тренда (линейный, полиномиальный второй и третьей степени, логарифмический и др.) дает примерно одинаковые значения на рассматриваемом временном отрезке, поэтому, с учетом физического смысла решаемой задачи, целесообразно использовать логарифмический тренд вида $y=a+b \cdot \ln(c \cdot x)$.
2. По показателям частоты общего, смертельного травматизма и профзаболеваемости в республике сохраняется благоприятная тенденция к снижению уровня риска, однако темп развития этих процессов замедляется, что связано, в первую очередь, с ростом промышленного производства (валовой региональ-

ный продукт в 2014-16 г. в основных ценах соответствующих лет составил 189439;2 248280,1 [13]; 331757,1 [14] млн. руб.), но, с другой стороны, указывает и на недостаточность предпринимаемых усилий по улучшению условий и охраны труда. При разработке в Крыму эффективной стратегии управления охраной труда и благоприятной экономической ситуации, в ближайшие годы можно ожидать незначительное повышение уровня производственного травматизма с последующим снижением до порогового (в идеале допустимого) значения риска, которое определяется спектром видов экономической деятельности, характерным для региона и эффективностью работы служб охраны труда на производстве.

3. Темпы роста тяжести производственного травматизма в Крыму снижаются. Основная причина – успешная организационная деятельность Министерства труда и социальной защиты Республики Крым, служб охраны труда предприятий и организаций по повышению уровня подготовки персонала в вопросах охраны труда, мотивации выполнения требований безопасности, масштабное проведение специальной оценки условий труда на рабочих местах (в 2015-2016 гг. порядка 144 тысяч рабочих мест прошли специальную оценку условий труда – это 40 % их общего количества в республике [15]), оснащение современным оборудованием и средствами защиты.

Список литературы

1. Заседание Межведомственной комиссии по охране труда при Совете министров Республики Крым. URL: http://rk.gov.ru/rus/index.html/news/360_435.htm (дата обращения: 13.08.2017).
2. Карначев П.И. Статистические показатели производственного травматизма, используемые в отечественной и международной практике оценки уровня безопасности труда / П.И. Карначев, Н.А. Винниченко, И.П. Карначев // Безопасность и охрана труда. – 2015. – № 2. – С. 37-40.
3. Постановление Совета министров Республики Крым от 23.12.2014 N 540 "Об утверждении Государственной программы по улучшению условий и охраны труда Республики Крым на 2015 - 2017 годы". URL: <http://ipravo.info/crimea1/law89/109.htm> (дата обращения: 13.08.2017).
4. Постановление Совета министров Республики Крым от 23.12.15 г. № 836 «Об утверждении Государственной программы труда и занятости населения Республики Крым на 2015-2017 годы». URL: http://rk.gov.ru/file/File/pub_273581.pdf (дата обращения: 13.08.2017).
5. Федеральная служба государственной статистики. Таблицы из бюллетеня «Производственный травматизм в Российской Федерации в 2014 году». URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 15.11.2015).
6. Федеральная служба государственной статистики. Таблицы из бюллетеня «Производственный травматизм в Российской Федерации в 2015 году». URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 11.10.2016).
7. Федеральная служба государственной статистики. Таблицы из бюллетеня «Производственный травматизм в Российской Федерации в 2016 году». URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 12.08.2017).
8. Карначев И.П. Обеспечение безопасности труда в производственной сфере (на примере промышленных предприятий горно-энергетического комплекса Кольского Заполярья) / И. П. Карначев, Б. В. Ефимов, А. Н. Никанов. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. – 169 с.
9. Карначев И.П. Анализ уровня безопасности труда в ОАО «Апатит» с помощью введения кинематических характеристик производственного травматизма / И. П. Карначев, В.С. Свинин, О.В. Натаров //Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 6. – С. 44-47.
10. Карначев И.П. Анализ статистических показателей безопасности и охраны труда, используемых при исследовании динамики производственного травматизма/ И. П. Карначев, Е. Б. Коклянов// Вестник МГТУ. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 751-757.
11. Состояние условий и охраны труда в Мурманской области: региональный обзор. – Мурманск, 2009. – 101 с.
12. ГОСТ Р 12.0.010-2009. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. – М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
13. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым. Объем и динамика валового регионального продукта Республики Крым. URL: <http://crimea.gks.ru/> (дата обращения: 13.08.2017).
14. Проект постановления правительства Республики Крым «О прогнозе социально-экономического развития Республики Крым на 2017 финансовый год и на плановый период 2018 и 2019 годов». URL:

http://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_31818_2.pdf (дата обращения: 13.08.2017).

15. Доклад Министра труда и социальной защиты РК Елены Романовской "Об итогах деятельности Министерства труда и социальной защиты Республики Крым за 2016 год и задачах на 2017 год". URL: <http://mtrud.rk.gov.ru/rus/info.php?id=646335> (дата обращения: 13.08.2017).

References

1. Zasedanie Mezhvedomstvennoi komissii po okhrane truda pri Sovete ministrov Respubliki Krym. URL: <http://rk.gov.ru/rus/index.html/news/360435.htm> (data obrashcheniia: 13.08.2017).
2. Karnachev P.I. Statistical indicators of traumatism, used in the domestic and international practice of industrial safety assessment level / P.I. Karnachev, N.A. Vinnichenko, I.P. Karnachev // Bezopasnost' i okhrana truda. – 2015. – № 2. – S. 37-40.
3. Postanovlenie Soveta ministrov Respubliki Krym ot 23.12.2014 N 540 "Ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy po uluchsheniui uslovii i okhrany truda Respubliki Krym na 2015 - 2017 gody". URL: <http://ipravo.info/crimea1/law89/109.htm> (data obrashcheniia: 13.08.2017).
4. Postanovlenie Soveta ministrov Respubliki Krym ot 23.12.15 g. № 836 «Ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy truda i zaniatosti naseleniia Respubliki Krym na 2015-2017 gody». URL: http://rk.gov.ru/file/File/pub_273581.pdf (data obrashcheniia: 13.08.2017).
5. Federal'naia sluzhba gosudarstvennoi stati-stiki. Tablitsy iz biulletenia «Proizvodstvennyi travmatizm v Rossiiskoi Federatsii v 2014 godu». URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashcheniia: 15.11.2015).
6. Federal'naia sluzhba gosudarstvennoi stati-stiki. Tablitsy iz biulletenia «Proizvodstvennyi travmatizm v Rossiiskoi Federatsii v 2015 godu». URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashcheniia: 11.10.2016).
7. Federal'naia sluzhba gosudarstvennoi stati-stiki. Tablitsy iz biulletenia «Proizvodstvennyi travmatizm v Rossiiskoi Federatsii v 2016 godu». URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashcheniia: 12.08.2017).
8. Karnachev I.P. Obespechenie bezopasnosti truda v proizvodstvennoi sfere (na primere promyshlennykh predpriatii gorno-energeticheskogo kompleksa Kol'sko-go Zapoliar'ia) / I. P. Karnachev, B. V. Efimov, A. N. Nikanov. – Apatity: Izd. KNTs RAN, 2006. – 169 s.
9. Karnachev I.P. Analiz urovnia bezopasnosti truda v OAO «Apatit» s pomoshch'iu vvedeniia kinematicheskikh kharakteristik proizvodstvennogo travmatizma / I. P. Karnachev, V.S. Svinin, O.V. Natarov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2007. – № 6. – S. 44–47.
10. Karnachev I.P. Analiz statisticheskikh poka-zatelei bezopasnosti i okhrany truda, ispol'zuemykh pri issledovanii dinamiki proizvodstvennogo travmatizma/ I. P. Karnachev, E. B. Koklianov// Vestnik MGTU. – 2011. – T. 14, № 4. – S. 751-757.
11. Sostoianie uslovii i okhrany truda v Murmanskoi oblasti: regional'nyi obzor. – Murmansk, 2009. – 101 s.
12. GOST R 12.0.010-2009. Occupational safety standards system. Occupational safety and health management systems. Hazard and risks identification and estimation of risks. – M.: Standartinform, 2011. – 16 s.
13. Territorial'nyi organ Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Respublike Krym. Ob'em i dinamika valovogo regional'nogo produkta Respubliki Krym. URL: <http://crimea.gks.ru/> (data obrashcheniia: 13.08.17).
14. Proekt postanovleniia pravitel'stva Respubliki Krym «O prognoze sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia Respubliki Krym na 2017 finansovyi god i na planovyi period 2018 i 2019 godov». URL: http://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_318182.pdf (data obrashcheniia: 13.08.2017).
15. Doklad Ministra truda i sotsial'noi zashchity RK Eleny Romanovskoi "Ob itogakh deiatel'nosti Ministerstva truda i sotsial'noi zashchity Respubliki Krym za 2016 god i zadachakh na 2017 god". URL: <http://mtrud.rk.gov.ru/rus/info.php?id=646335> (data obrashcheniia: 13.08.2017).

К 620.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОШИВКИ НА СВОЙСТВА МНОГОАКСИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

И.А. Буянов¹, Г.В. Малышева¹¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Москва, Российская федерация

Аннотация

Проведен сравнительный современных технологий формования деталей из полимерных композиционных материалов методами выкладки и рассмотрены преимущества и недостатки прошивных тканых наполнителей. Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния в зависимости от шага прошивки и толщины прошивной нити для пакетов углеродных тканей, состоящих из различного количества слоев. Рассмотрено влияния вспомогательной ткани на качество прошивки.

Ключевые слова: ткани, прошивка, полимерные композиционные материалы, вакуумная инфузия.

WAY TO PREVENT TECHNOLOGICAL DEFECTS MACHINE PARTS MANUFACTURED USING ADDITIVE TECHNOLOGY

I.A. Buynov¹, G.V. Malysheva¹¹Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation

Abstract

Comparative modern technologies of molding parts from polymer composite materials by methods of laying out are carried out and advantages and disadvantages of sewing woven fillers are considered. The results of calculating the stress-strain state as a function of the piercing step and the thickness of the piercing filament for packages of carbon fabrics consisting of a different number of layers are given. The effect of auxiliary tissue on the quality of the firmware is considered.

Keywords: Fabrics, piercing, polymeric composite materials, vacuum infusion.

В настоящее время все более широкое распространение при изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов получили прямые методы формования, которые основаны на использовании «сухих» тканей, взамен традиционных препрегов [1, 2]. Кинетика процессов пропитывания таких преформ требует новых методов расчета, которые подробно изложены в работах [3-5].

Основной технологической операцией при инфузионной технологии, является изготовление пакета, которая включает в себя два основных технологических перехода: раскрой и выкладку. На продолжительность процесса раскроя большое влияние оказывает величина осыаемости используемых тканей, поскольку выпавшие из открытого среза нити необходимо удалять. На продолжительность процесса выкладки определя-

ющее влияние оказывает геометрические особенности, в частности, толщина готовой детали. При толщине стандартной ткани 0,2, для обеспечения толщины детали в 20 мм необходимо собрать пакет из 100 слоев.

Одним из простых и эффективных способов, позволяющих существенно сократить продолжительность операции выкладки является предварительная прошивка тканей. Такие ткани получили название – аксиальные. В настоящее время производители технических тканей стали проводить прошивку непосредственно на своих предприятиях, выпуская большой ассортимент двух-, трех- и многоаксиальных тканей. Однако, стоимость таких тканей существенно выше, чем обычных и поэтому для снижения себестоимости многие предприятия начали производить прошивку самостоятельно. В (табл. 1)

приведены преимущества и недостатки обычных и аксиальных тканей.

Таблица 1
Преимущества и недостатки стандартных и аксиальных тканей

Тип ткани	Преимущества	Недостатки
Обычный	Минимальная стоимость Широкий ассортимент	Характеристики драпируемости зависят от пористости и величины сетевого угла
Аксиальный	Хорошие характеристики драпируемости. Высокие механические свойства отформованных деталей	Более высокая стоимость. Малый ассортимент тканей

Целью данной работы является исследование влияния технологии прошивки углеродных тканей на свойства тканей и композитов на их основе.

Объекты и методы

В качестве объектов исследования в работе использовались углеродная ткань марки AS-4. Между собой сшивались пять слоев. Данная схема была выбрана как наиболее простая, поскольку целью работы являлось исследование технологии прошивки, что удобнее всего было проводить на одностороннем пакете. Прошивку проводили на швейной машине JUKILZ-391 с помощью нити Армос толщиной 0,2 и 0,4 мм. Одну часть образцов прошивали с использованием вспомогательной ткани, вторую – без нее. При использовании вспомогательной ткани она укладывалась с двух сторон пакета. В качестве вспомогательной ткани использовался водорастворимый флизелин. Скорость растворения определяли при комнатной и повышенной температуре. Качество растворения оценивали визуально.

Для оценки степени повреждаемости тканей после прошивки использован настольный рентгеновский микротомограф высокого разрешения марки SkyScan 1172, который позволяет визуализировать пространственные структуры без какой-либо механической и химической обработки.

В качестве связующего при пропитывании пакетов прошитых тканей использовался модифицированный эпоксидный материал.

В работе также проводили теоретическую оценку максимальных значений деформаций углепластиков с использованием учебной версии программы AltairOptiStruct. Для расчетов использовались пакеты, состоящие из 5, 10 и 100 слоев тканей для двух схем укладки 0° и $0/90^\circ$. Направление волокна в прошивке задавалось отдельной локальной системой координат, все расчеты проведены в линейной статической постановке.

Результаты и обсуждение

В (табл. 2) приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния углепластика, который провели для прошитых тканей.

В работе также проводился расчет при разном расстоянии между строчками. В результате проведенных расчетов установлено, что при одном и том же диаметре прошивной нити, например, 0,2 мм, при увеличении расстояния между строчками имеет место незначительное увеличение деформации при растяжении по всем осям. Проведенные расчеты также показали, что увеличение диаметра прошивной нити (для двух рассмотренных схем армирования) практически не оказывает никакого влияния на деформационные характеристики композита при сдвиговых нагрузках.

Анализ полученных результатов показывает, что прошивка оказывает очень незначительное влияние на деформационные свойства углепластиков. Расстояние между соседними строчками и свойства используемой прошивной нити также, судя по результатам проведенных расчетов, не имеют существенного значения.

Однако, эти данные расходятся с ранее полученными результатами, например, в работе [6] приведены значения предела прочности при растяжении углепластиков, полученных при использовании прошитых и не прошитых тканей.

Таблица 2
Результаты расчета деформации углепластика в зависимости от схемы укладки и количества слоев

Направление	Деформации, мм
Результаты расчета для 5 слоев, укладка 0°	
x	$7,76 \cdot 10^{-3}$
y	0,1193
xz	$6,615 \cdot 10^{-4}$
yz	$1,297 \cdot 10^{-3}$
Результаты расчета для 5 слоев, укладка 0/90°	
x	$1,148 \cdot 10^{-2}$
y	0,0163
xz	$9,175 \cdot 10^{-4}$
yz	$1,045 \cdot 10^{-3}$
Результаты расчета для 10 слоев, укладка 0°	
x	$3,888 \cdot 10^{-3}$
y	0,0593
xz	$1,324 \cdot 10^{-3}$
yz	$2,594 \cdot 10^{-3}$
Результаты расчета для 10 слоев, укладка 0/90°	
x	$5,737 \cdot 10^{-3}$
y	$8,145 \cdot 10^{-3}$
xz	$1,835 \cdot 10^{-3}$
yz	$2,089 \cdot 10^{-3}$
Результаты расчета для 100 слоев, укладка 0°	
x	$3,880 \cdot 10^{-4}$
y	0,0059
xz	$1,324 \cdot 10^{-2}$
yz	$2,594 \cdot 10^{-2}$
Результаты расчета для 100 слоев, укладка 0/90°	
x	$5,737 \cdot 10^{-4}$
y	$8,145 \cdot 10^{-4}$
xz	$1,835 \cdot 10^{-2}$
yz	$2,089 \cdot 10^{-2}$

Технология прошивки, тип связующего, марка ткани и технология формования для всех образцов были идентичны. Проведенные испытания показали, что прочность углепластиков при использовании не прошитых тканей составляет 1890 МПа, а после прошивки она достигает 2100 МПа, т.е. имеет место некоторое увеличение прочности, которое не было установлено при проведении теоретических расчетов.

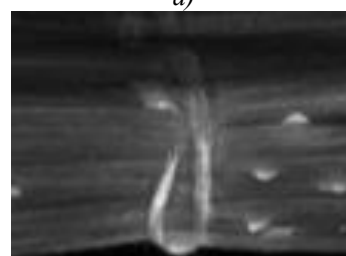
В работе также проводились экспериментальные исследования скорости процесса растворения вспомогательной ткани (через которую проводили прошивку). В результате проведенных исследований

установлено, что вспомогательная ткань быстро и хорошо растворяется в воде при комнатной температуре только в том случае, если она находится сверху пакета. В это случае время растворения не превышало нескольких минут. Если же проводили сшивку уже предварительно прошитых пятислойных пакетов ткани, то в этом случае вспомогательная ткань располагалась внутри пакета и для ее растворения в воде при комнатной температуре требовалось около 30 мин.

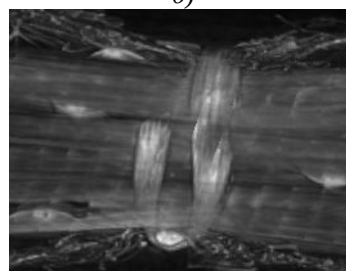
На (рис. 1) приведены фото элементов структур прошитых тканей без использования вспомогательной ткани (рис. 1. а, б) и при ее использовании (рис. 1, в, г).



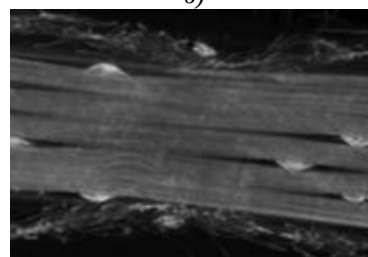
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Фото элементов структуры прошитого пакета из углеродных тканей со вспомогательным слоем (а, б) и без него (в, г)

В процессе прошивки, не зависимо от того, была ли использована вспомогательная ткань или нет, не происходит повреждения (т.е. излома) волокон, поскольку в месте стежка волокна раздвигаются. Как видно из приведенных фото, вспомогательная ткань в месте прошивки вплотную прижимается к углеродной, что хорошо видно на рис. в. После завершения процесса прошивки вспомогательная ткань подлежала удалению.

Толщина прошивной нити (рис.1 б, в), судя по приведенным фото, не оказывает влияние на качество прошивки.

Использование вспомогательной ткани позволяло получать более ровные строчки. Еще одним преимуществом вспомогательной ткани являлось полное отсутствие зацепок, которые присутствовали на изнаночной стороне пакета, если вспомогательная ткань не применялась.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований установлено, что прошивка оказывает очень незначительное влияние на деформационно-прочностные характеристики композита. Проведенные результаты расчетов жесткости композита с вертикальной прошивкой показали, что по сравнению с непрошитым композитом жесткость на сдвиг меняется незначительно. Шаг между строчками и диаметр используемой прошивной нити так же не оказывают существенного влияния.

Установлено, что прошивку углеродных тканей между собой целесообразно проводить через подложку, функцию которой выполняет вспомогательная ткань (водорастворимый флизелин). После завершения процесса прошивки вспомогательная ткань подлежит удалению. Время полного растворения вспомогательной ткани зависит от места ее расположения в пакете. Если вспомогательная ткань располагается сверху, то время на ее полное растворение не превышает нескольких мин. Если же вспомогательная ткань располагается внутри пакета, то для ее удаления требуется время от 30 мин и более.

Список литературы

1. Баурова Н.И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин. Учеб. пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин // Москва. МАДИ. – 2016. – 264 с.
2. Татарников О.В., Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Морозов Б.Б. Конечное-элементное моделирование теплового режима автоклавного отверждения трехслойной панели // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №8. С.32-35.
3. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Кобец Л.П., Малышева Г.В. Исследование механизма структурообразования связующего в зависимости от микро-рельефа поверхности углеродного волокна // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №2. С.19-23.
4. Нелюб В.А., Берлин А.А. Исследование химического строения поверхности углеродных волокон до и после окисления // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. №1. С.3-9.
5. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Кобец Л.П., Малышева Г.В. Гистерезис вязкости в наполненных силоксановых связующих // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №8. С.25-29.
6. Буянов И.А. Методика квазистатических испытаний полимерных композиционных материалов на растяжение при разных технологиях прошивки // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №12. С.72-74.
7. Нелюб В. А. Инжиниринг в отрасли композитов: связь образования, науки и промышленности//Наноиндустрия. 2014. № 8 (54). С. 6-11.
8. Нелюб В. А., Белов П. А. Методы повышения стойкости углепластиков к деламации за счет управления адгезией волокна к матрице//Новости материаловедения. Наука и техника. 2013. № 7. С. 28.
9. Муранов А. Н., Александров И. А., Буянов И. А., Чуднов И. В., Бородулин А. С., Нелюб В. А. Исследования микроструктуры наномодифицированных полимерных композиционных материалов//Наука и образование: электронное научнотехническое издание. 2012. № 7. С. 5.
10. Бородулин А. С., Марычева А. Н., Малышева Г. В. Моделирование кинетики процессов пропитки тканых наполнителей при производстве изделий из стеклопластиков//Физика и химия стекла. 2015. Т. 41. № 6. С. 892-898.
11. Буянов И. А., Бородулин А. С., Пье Пху Маунг. Исследование структуры полимерных композиционных материалов с использованием рентгеновского микротомографа//Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 11. С. 70-75.
12. Чуднов И. В. Разработка антенных рефлекторов из композиционных материалов для космических аппаратов/В сб.: «Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов» Всероссийская научна Интернет конференция с международным участием: материа-

лы и конференция. ИП Синяев Дмитрий Николаевич. 2013. С. 174-176

13. Баурова Н. И., Зорин В. А., Приходько В. М. Описание процессов деградации свойств материалов с использованием аппарата теории катастроф//Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. № 11. С. 14-19.
14. Muranov A. N., Malysheva G. V., Nelyub V. A., Buyanov I. A., Chudnov I. V., Borodulin A. S. Investigation of properties of polymeric composition materials about a heterogeneous matrix//Polymer Science. Series D. 2013. V. 6. No 3. P. 256-259.
15. Себеси Г., Бредшоу П. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы. М.: Мир. 1987. 592 с.

References

1. Baurova N.I. Application of polymer composite materials in the production and repair of machinery. Textbook. Allowance / N.I. Baurova, V.A. Zorin // Moscow. MADI. - 2016. - 264 p.
2. Tatarnikov OV, Malysheva GV, Akhmetova E.S., Morozov BB Finite element modeling of the thermal regime of autoclave solidification of a three-layer panel // Glues. Sealants. Technologies. 2015. № 8. P.32-35.
3. Neljub VA, Borodulin AS, Kobets LP, Malysheva G.V. Investigation of the mechanism of the structure-formation of a binder depending on the micro-relief of the surface of the carbon fiber // Glues. Sealants. Technologies. 2016. №2. P.19-23.
4. Neljub VA, Berlin A.A. Investigation of the chemical structure of the surface of carbonaceous hair before and after oxidation // All materials. Encyclopaedic reference book. 2015. №1. C.3-9.
5. Neljub VA, Borodulin AS, Kobets LP, Malysheva G.V. Hysteresis of viscosity in filled siloxane binders. // Adhesives. Sealants. Technologies. 2016. № 8. P.25-29.
6. Buyanov IA A technique of quasi-static tests of polymeric composite materials on stretching under different piercing technologies // All materials. Encyclopedic reference book. 2016. № 12. P.72-74.

7. Neliub V. A. Inzhiniring v otrasli kompozitov: sviaz' obrazovaniia, nauki i promyshlennosti//Nanoindustriia. 2014. № 8 (54). S. 6-11.
8. Neliub V. A., Belov P. A. Metody povysheniia stoikosti ugleplastikov k delaminatsii za schet upravleniia adgezii volokna k matri-tse//Novosti materialovedeniia. Nauka i tekhnika. 2013. № 7. S. 28.
9. Muranov A. N., Aleksandrov I. A., Buianov I. A., Chudnov I. V., Borodulin A. S., Neliub V. A. Issledovaniia mikrostrukturnykh nanomodifitsirovannykh polimernykh kompozitsionnykh materialov//Nauka i obrazovanie: elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie. 2012. № 7. S. 5.
10. Borodulin A. S., Marycheva A. N., Malysheva G. V. Modelirovanie kinetiki protsessov propitki tkanykh napolnitelei pri proizvodstve izdelii iz stekloplastikov//Fizika i khimiia stekla. 2015. T. 41. № 6. S. 892-898.
11. Buianov I. A., Borodulin A. S., P'e Pkhu Maung. Issledovanie struktury polimernykh kompozitsionnykh materialov s ispol'zovaniem rentgenovskogo mikrotomografa//Vse materialy. En-tsiklopedicheskii spravochnik. 2016. № 11. S. 70-75.
12. Chudnov I. V. Razrabotka antennykh reflektorov iz kompozitsionnykh materialov dlia kosmicheskikh apparatov/V sb.: «Fundamental'nye i prikladnye aspekty novykh vysokoeffektivnykh materialov» Vserossiiskaia nauchna Internet konferentsiia s mezhdunarodnym uchastiem: materialy i konferentsiia. IP Siniaev Dmitrii Nikola-evich. 2013. S. 174-176
13. Baurova N. I., Zorin V. A., Prihod'ko V. M. Opisanie protsessov degradatsii svoistv materialov s ispol'zovaniem apparata teorii katastrof//Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik. 2014. № 11. S. 14-19.
14. Muranov A. N., Malysheva G. V., Nelyub V. A., Buyanov I. A., Chudnov I. V., Borodulin A. S. Investigation of properties of polymeric composition materials about a heterogeneous matrix//Polymer Science. Series D. 2013. V. 6. No 3. R. 256-259.
15. Sebesi G., Bredshou P. Konvektivnyi teploobmen. Fizicheskie osnovy i vychislitel'nye metody. M.: Mir. 1987. 592 s.

УДК 621.941

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЕТАЛИ И ИНСТРУМЕНТА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ФАСОННОГО ТОЧЕНИЯ КАНАВОК КОЛЕЦ КОЛЛЕКТОРОВ

А.А. Вожжов¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

В данной работе в общем случае проведена оценка влияния относительных колебаний детали и инструмента на шероховатость поверхности в процессе фасонного точения канавок колец коллекторов. Применяя полученные зависимости во всем диапазоне переменных условий обработки, можно управлять уровнем колебаний путем изменения, режимов резания и геометрии инструмента. Кроме того, зная расчетное значение амплитуды колебаний, можно прогнозировать шероховатость обработанной поверхности, а также погрешности формы деталей.

Ключевые слова: фасонное точение, устойчивость процесса, вынужденные колебания, автоколебания, анализ.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE RELATIVE DIFFERENCES OF THE DETAIL AND THE TOOL ON THE RIBBON OF THE SURFACE IN THE PROCESS OF THE SHAPED POINT OF THE RIBBONS OF THE RING OF THE MANIFOLDS

А.А. Vozhzhov¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

In the present work, in the general case, the influence of the relative vibrations of a part and tool on the surface roughness in the process of shaped turning of grooves in the rings of collectors was evaluated. Applying the obtained dependencies throughout the entire range of processing conditions variables, it is possible to control the vibration level by changing, cutting modes and tool geometry. In addition, knowing the calculated value of the amplitude of the oscillations, it is possible to predict the roughness of the treated surface, as well as the error in the shape of the parts.

Keywords: Shaped turning, process stability, forced oscillations, auto-oscillations, analysis.

Процесс резания металлов при любых условиях обработки сопровождается наличием колебаний. Влиянию колебаний системы на технологические характеристики процесса обработки посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ [2, 5, 7].

Анализ колебаний системы СИД, устойчивости процесса резания при точении с наложением колебаний, с использованием различных моделей представлен в работах [3, 8, 12].

Чаще всего наблюдаются два вида колебаний: вынужденные и автоколебания. К вынужденным относятся колебания, возникающие под действием следующих причин:

периодического характера действующих на систему сил, а также переменных величин приведенных масс, податливости и демпфирующей способности в различных точках контакта инструмента и детали в процессе резания.

Возбудителя вынужденных колебаний можно определить путем последовательных отключений отдельных элементов привода или путем изменения чисел оборотов отдельных элементов. Вынужденные колебания резонансного типа определяются тем, что они при изменении скорости вращения исчезают или значительно уменьшаются.

Признаком же автоколебаний при резании является почти постоянная частота ко-

лебаний при изменении скорости и несовпадение наблюдаемой частоты ни с одной из частот внешних источников вынужденных колебаний. Колеблющийся при автоколебаниях элемент системы является самоисточником собственных колебаний.

Целью данной работы является: на основе динамической модели процесса, создание алгоритма определения зависимости амплитуд относительных вынужденных колебаний инструмента и детали от жесткости, определение влияния параметров колебаний на точность и качество на операции фасонного точения канавок коллектора.

В процессе фасонного точения наблюдаются как вынужденные относительные колебания детали и инструмента, так и автоколебания. Причем параметры этих видов колебаний существенно различны. Так амплитуда автоколебаний значительно меньше, а частота больше по сравнению с вынужденными колебаниями.

Обычно принято считать, что относительно низкочастотные вынужденные колебания в основном влияют на погрешности формы поперечного сечения детали. При этом погрешности форм поперечного сечения возникают при любом соотношении частот колебания и вращения детали, а погрешности формы продольного сечения возникают только при дробном отношении частот, т.е. когда круговая возвратно-поступательная траектория колебаний вершины инструмента не замыкается в конце одного оборота. В общем случае при дробном отношении частот как в поперечном, так и в продольном сечениях детали возникает волнистость поверхности.

В процессе контроля точности фасонных канавок для оценки погрешностей формы поперечного сечения, как правило, пользуются комплексным показателем отклонения от круглости. Такая оценка хорошо обеспечена соответствующими измерительными средствами очень высокой точности (0,1 микрона). В то же время для определения величины волнистости в продольном сечении измерительные средства вообще отсутствуют, и такая оценка точности формы обычно не производится, хотя известно, что

волнистость поверхности существенно снижает эксплуатационные свойства деталей машин [13].

Если вынужденные колебания инструмента относительно обрабатываемой детали создают волнистость, то высокочастотные автоколебания безусловно приводят к образованию шероховатости поверхности. Причем, действуя одновременно, оба вида колебаний накладываются друг на друга, в связи с чем на обработанной поверхности возникает волнистость с наложенной на нее шероховатостью.

В процессе точения измерялись по мере необходимости следующие параметры: усилия резания; деформации детали от усилий резания; декременты затухания резца и детали в отдельности, а также системы "резец – деталь"; колебания резца и детали, а также их относительные суммарные колебания. Также измерялись амплитуды "холостого хода" при различных режимах и вариантах совместной работы различных агрегатов и узлов станка (A_{xx}).

До начала процесса фасонного точения исследовались деформации обрабатываемой детали от усилий закрепления и сравнивались с расчетными деформациями.

После окончания процесса фасонного точения измерялся износ резца, точностные параметры и шероховатость поверхности обработанных канавок.

В процессе исследований были изучены следующие вопросы:

- определение собственных частот колебаний элементов технологической системы;
- определение коэффициента передачи вибраций при вынужденных колебаниях в зону резания от различных источников (электродвигателей, гидронасосов, привода вращения шпиндельного узла и др.);
- установление соотношения уровня вынужденных и автоколебаний при резании;
- установление зависимости амплитуды и частоты колебаний от различных факторов;
- исследование влияния параметров колебаний и других технологических факторов на точность формы обработанных канавок коллектора;

- установление влияния колебаний на шероховатость обработанной поверхности.

Экспериментальная установка для проведения исследований на базе станка WEILER DZ 65/H1 представлена на (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная установка на базе станка WEILER DZ 65/H1

Характеристикой демпфирующих свойств упругой системы считается относительное рассеяние энергии ψ , под которым понимают отношение рассеянной энергии ΔE за цикл установившихся колебаний к амплитудному значению потенциальной энергии E упругой системы

$$\psi = \frac{\Delta E}{E}, \quad (1)$$

где $E = C \cdot \frac{A^2(\tau)}{2}$; C – жесткость системы; $A(\tau)$ – амплитуда перемещений в некоторый момент τ .

Уменьшение энергии в системе за промежуток времени может быть представлено дифференциалом dE , а относительное рассеяние энергии в материале упругого элемента за период колебаний T

$$\psi = - \int_{E\tau}^{E\tau+T} \frac{dE}{E} = - \int_{A_i}^{A_{i+1}} \frac{2dA}{A} = 2 \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}, \quad (2)$$

где A_i , A_{i+1} – две, следующие друг за другом амплитуды колебаний в начале и в конце i -го периода (цикла) колебаний.

Выражение $\lambda = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$, определяющее

темп затухания свободных колебаний, называется логарифмическим декрементом затухания колебаний. С относительным рассеянием энергии логарифмический декремент

затухания колебаний связан зависимостью $\psi = 2\lambda$.

Приведенная зависимость справедлива при условии, если рассеяние энергии не зависит от частоты колебаний, что практически и наблюдается для всех конструкционных материалов. Если предположить, что декремент не зависит от абсолютных величин амплитуд, то формулу для вычисления декремента затухания колебаний можно представить в виде

$$\lambda = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}, \quad (3)$$

где A_i , A_{i+1} – амплитуды свободных затухающих колебаний, отстоящие на n периодов друг от друга.

Для измерения свободных колебаний такие колебания возбуждались в элементах технологической системы импульсной нагрузкой и регистрировались вместе со стандартным отметчиком времени.

Так как свободные затухающие колебания обычно происходят на первой основной частоте собственных колебаний, то по виброграмме можно вычислить не только значение декремента колебаний, но и собственную частоту колебаний исследуемого элемента системы

$$f = \frac{2\pi \cdot L_0 \cdot f_0}{L_c \cdot \sqrt{4\pi^2 - \lambda^2}} \approx \frac{L_0}{L_c} \cdot f_0, \quad (4)$$

где L_0 , L_c – условные периоды колебаний отметчика времени и сигнала, измеренные в единицах длины на виброграмме; f_0 – частота отметчика времени.

В экспериментах декремент затухания колебаний определялся как в условиях свободных колебаний детали и инструмента, так и при опоре детали на резец в среднем сечении, что соответствовало свободным колебаниям системы "резец – деталь". Зависимость декремента от податливости показывает, что с ее увеличением демпфирующая способность системы уменьшается. Это свидетельствует о том, что при прочих равных условиях более податливые системы поглощают меньшее количество энергии колебаний. С увеличением массы элемента количество поглощенной энергии возрастает и

соответственно растет величина декремента затухания колебаний.

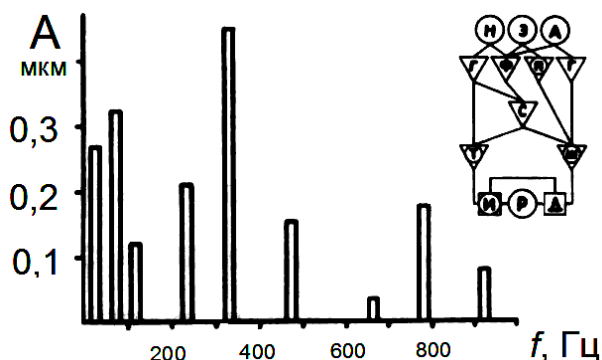


Рис. 2. Спектрограмма частот и уровней вынужденных колебаний

Влияние податливости и массы детали на частоту колебаний системы и детали в отдельности соответствует известной теоретической зависимости, с ростом податливости и массы частота колебаний уменьшается.

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{m \cdot W}}.$$

Спектрограмма частот и уровень вынужденных колебаний системы станка WEILER DZ 65/H1 на холостом ходу:

О – источник колебаний; В – проводник; П – приемник; Э – электродвигатель; Н – насос; А – агрегат охлаждения; Ф – фундамент; С – станина; П – привод; Ш – шпиндель; Г – гидросистема; И – инструмент; Д – деталь; Р – процесс резания; Т – суппорт с резцедержателем.

Исследование частот и уровней вынужденных колебаний и коэффициентов их передачи от различных источников на инструмент и деталь выполнялось с использованием анализатора типа SVAN – 946, предназначенного для измерения и анализа вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность», СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация», который автоматически разлагал сложные колебания в частотный спектр. Прибор сертифицирован Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России), имеет сертификат и зарегистрирован в Государственном реестре.

На (рис. 2) приведена спектрограмма, записанная при холостом вращении детали, работающем приводе подачи суппорта и агрегате охлаждения. В (табл. 1) приведены численные значения частот и амплитуд в спектре колебаний холостого хода.

Таблица 1. Численные значения частот и амплитуд в спектре колебаний холостого хода

Частота колебаний, Гц	Амплитуда колебаний, мкм
23	0,26
77	0,32
116	0,12
231	0,21
335	0,44
472	0,15
663	0,04
739	0,17
914	0,08

Как показал анализ, доминирующей частотой спектра оказалась собственная частота колебаний детали, равная 335 Гц. Значительными по амплитуде оказались также частоты колебаний 23, 77 и 231 Гц, генерируемые цепью элементов привода вращения шпинделя. Большинство частот, выделенных в спектрограмме холостого вращения детали, оказались характерными и для спектрограмм колебаний, получаемых при работе различных агрегатов станка.

Влияние различных источников вынужденных колебаний на относительные колебания детали и инструмента изучалось методом последовательного отключения источников. Исследование уровня колебаний источника и коэффициента их передачи на инструмент и деталь (рис. 3) показало, что наибольший уровень колебаний имеет работающий гидроагрегат (3 – 4 мкм), несколько меньший (2 – 3 мкм) привод вращения шпинделей и еще меньший (1 – 2 мкм) агрегат охлаждения. Однако, как показали эксперименты, влияние этих источников на колебания резца и детали весьма незначительно. Наибольший коэффициент передачи имеет привод вращения шпинделей, но и его величина составляет всего 0,03 – 0,07, т.е. от 3 % до 7 %. Остальные источники имеют коэффициент передачи от 2 % до 5 %. Эти данные говорят о том, что примерно 90%

энергии вынужденных колебаний рассеивается в массе фундамента и самого станка, который, как правило, устанавливается на виброизолирующих опорах.

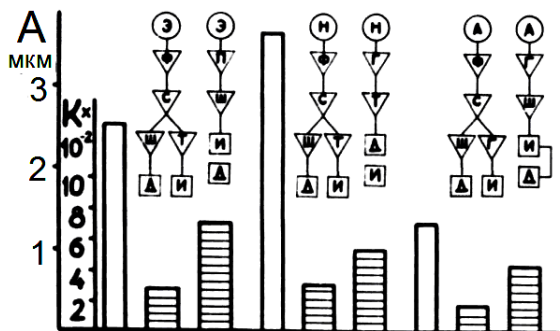


Рис. 3. Амплитуда колебаний и коэффициенты передачи колебаний от различных источников на инструмент и деталь (обозначения по рис. 2)

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что вынужденные колебания узлов станка в весьма малой степени влияют на возникающие при фасонном точении колебания, а главным их источником является сам процесс резания, или точнее, физические явления, происходящие в процессе резания. В свою очередь процесс резания может возбуждать как вынужденные, так и автоколебания. Таким образом, если исключить основные источники вынужденных колебаний, возникающих при фасонном точении (смещение припуска на обработку, погрешности формы предварительно обработанной поверхности, переменная твердость и жесткость заготовок), то в условиях экспериментов можно разделить суммарную амплитуду колебаний A_{Σ} на две составляющие: от вынужденных колебаний $\approx A_{xx}$ и от автоколебаний $\approx A_{\Sigma} - A_{xx}$. В реальных производственных условиях при неудовлетворительном состоянии узлов станка и некачественной подготовке заготовок в ходе предшествующей обработки это соотношение может заметно изменяться.

Рассмотрено влияние различных технологических факторов на уровень колебаний: с увеличением скорости резания до 120 м/мин амплитуда колебаний несколько снижается; увеличение подачи приводит к росту уровня колебаний.

Как показали результаты исследований, амплитуда колебаний непосредственно влияет на величину и характер изменения погрешностей формы фасонных канавок.

Применение демпфирования деталей во всех случаях благоприятно сказывается на точности обработки. При оптимальном сочетании параметров демпфирования погрешности обработки уменьшаются на 20 – 80 %.

Наиболее существенное влияние на шероховатость поверхности оказывают качество доводки задней поверхности резца, величина подачи и радиус закругления вершины резца, которые определяют геометрический след режущего инструмента на обработанной поверхности. С учетом этих параметров для аналитического определения высоты неровностей чаще других используется известная формула В.М.Чебышева-Х.Бауэра

$$Rz = \frac{S^2}{8r}. \quad (5)$$

В области режимов тонкого точения, добавочная высота неровностей в значительной мере определяется динамическими процессами, что подтверждается теорией относительных колебаний детали и инструмента, изложенной в предыдущих разделах. При этом расчетные зависимости должны учитывать, высоты неровностей, обусловленные геометрией инструмента, режимами резания и величиной $t_{\min}$ на вибрационную составляющую, выраженную в виде волны от вынужденных колебаний инструмента. В свою очередь на технологическую составляющую (геометрический след резца) накладывается вторая вибрационная составляющая, обусловленная высокочастотными автоколебаниями. Таким образом, полная высота неровностей

$$Rz = P_{Z\text{ ТЕХН}} + Rz_{\text{ВИБР}}^{\text{ВЫН}} + Rz_{\text{ВИБР}}^{\text{АВТ}}. \quad (6)$$

Вибрационные составляющие высоты неровностей представляют собой удвоенные амплитуды автоколебаний и вынужденных колебаний инструмента относительно детали:

$$Rz_{\text{ВИБР}}^{\text{АВТ}} = 2A_{\text{АВТ}}, \quad (7)$$

$$Rz_{\text{ВИБР}}^{\text{ВЫН}} = 2A_{\text{ВЫН}}. \quad (8)$$

Амплитуда автоколебаний может быть вычислена по аналитическим зависимостям представленным в [15] (6), а амплитуда вынужденных относительных колебаний инструмента и детали определяется выражением $A_{\max} = A + B$, где составляющие A и B вычисляются по аналитическим зависимостям представленным в [14].

В диапазоне подач выше 0,2 мм/об, которые используются, как правило, при предварительной обработке, где не требуется точное прогнозирование шероховатости поверхности можно применять обычные расчетные формулы, например, формулу В.М.Чебышева-Х.Бауэра.

Таблица 2. Результаты экспериментов и расчетов

Подача, мм/об	Rz эксп-пер, мкм	Ампл. автоколеб., мкм	Ампл. вынужд. колеб., мкм	Rz расчет, мкм
1	4,4	0,4	0,5	4,8
2	5,0	0,5	0,5	5,2
3	5,4	0,6	0,5	5,5
4	5,7	0,6	0,5	5,7
5	6,0	0,7	0,5	6,0
6	6,6	0,8	0,5	6,5
7	7,0	0,9	0,5	7,2
8	8,2	1,0	0,5	8,3
9	10,4	1,1	0,5	10,5
10	11,6	1,2	0,5	11,8
11	13,4	1,3	0,5	13,3
12	15	1,4	0,5	14,9

Влияние амплитуды колебаний на шероховатость поверхности изучалось при фасонном точении латуни резцом с радиусом закругления вершины $r = 0,2$ мм и радиусом округления режущего лезвия $\rho = 0,07$ мм. Величина минимальной толщины среза составила при этом $t_{\min} = 0,004$ мм. В ходе исследований подача изменялась от 0,001 до 0,012 мм/об. В процессе фасонного точения измерялась амплитуда колебаний инструмента относительно детали и производилось ее разложение на составляющие автоколебаний и вынужденных колебаний. Затем выполнялся расчет шероховатости поверхности предложенным формулам (6 – 8). Экспериментальные и расчетные результаты сведены в (табл. 2).

Повысить эффективность механической обработки на операциях фасонного точения возможно путем использования компенсации влияния сил резания в процессе обработки. Наиболее эффективными в отношении обеспечения требуемой точности обработки являются технологическая схема с противоположным размещением резцов, при этом удастся максимально снизить деформации от действия радиальной составляющей силы резания, значительно снижаются амплитуды относительных колебаний детали и инструмента, в результате повышается точности обработки фасонных канавок колец коллекторов.

Список литературы

1. Бушманов Б.П., Хромов Ю.А. Физика твердого тела. - М.: Высш. шк., 1971. - 224 с.
2. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 244 с.
3. Дьяченко П.Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. - М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1949. - 126 с.
4. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. - Л.: Высш. шк., 1965. - 288 с.
5. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания. - М.: Машиностроение, 1968. - 130 с.
6. Колев К.С., Горчаков Л.М. Точность обработки и режимы резания. - М.: Машиностроение, 1976. - 144 с.
7. Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 359 с.
8. Лазарев Г.С. Автоколебания при резании металлов. - М.: Высш. шк., 1971. - 244 с.
9. Светлицкий В.А. Передачи с гибкой связью. Теория и расчет. - М.: Машиностроение, 1967. - 156 с.
10. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела: Пер. с англ. - М.: Мир, 1969. - 558 с.
11. Шубов И.Г. Шум и вибрация электрических машин. - Л.: Энергия, 1974. - 200 с.
12. Эрлих Л.Б. Внутренний резонанс одна из причин, способствующих появлению вибраций при обработке на станках // Станки и инструмент. - 1949. - № 1. - С. 19-21.
13. Вожжов А.А. Моделирование силовых взаимодействий при формообразовании поверхностей канавок колец коллектора слаботочных скользящих контактов // Вожжов А.А., Бороздин С.В. /Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2016. – Вып 8. Ч. 1.– С187-193

14. Вожжов А.А. Силовые взаимодействия при финишном фасонном точении канавок колец коллектора/ Вожжов А.А., Головин В.И.// Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-та; — Севастополь: СевГУ, 2016. — Вып. 1.— 88 с. (с.10-20)
15. Вожжов А.А. Анализ относительных вынужденных колебаний инструмента и детали при фасонном точении / Вожжов А.А., Худаймуратов М.А.// Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-та; — Севастополь: СевГУ, 2016. — Вып. 3.— 88 с. (с.16-28)

References

1. Bushmanov BP, Yuri Khromov Solid State Physics. - M.: Higher. wk, 1971. -. 224.
2. Dyomkin NB, Ryzhov EV The surface quality and the contact of machine parts. - M.: Engineering, 1981. - 244 p.
3. Dyachenko PE Dependence of surface microgeometry of machining conditions. - M. - L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1949. - 126 p.
4. GI Epifanov Solid State Physics. - IL: Executive. wk, 1965. -. 288.
5. Kolev KS Precision machining and cutting conditions. - M.: Engineering, 1968. - 130 p.
6. Kolev KS, Gorchakov LM Precision machining and cutting conditions. - M.: Engineering, 1976. - 144 p.
7. VA Kudinov Machine Dynamics. - M.: Engineering, 1967. - 359 p.
8. Lazarev GS Self-oscillations in metal cutting. - M.: Higher. wk, 1971. -. 244.
9. Svetlitsky VA Transfer with a flexible coupling. Theory and evaluation. - M.: Engineering, 1967. - 156 p.
10. Worth Charles Thomson R. Solid State Physics: Trans. from English. - M.: Mir, 1969. - 558 p.
11. IG Shubov Min Noise vibration electric cars. - L.: Energy, 1974. - 200 p.
12. LB Erlich Internal resonance is one of the reasons contributing to the emergence of vibrations during machining // Machines and tools. - 1949. - № 1. - S. 19-21.
13. Vozhzhov A.A. Simulation of force interactions in the formation of the surfaces of the grooves of the collector rings of weak-sliding sliding contacts // Vozhzhov AA, Borozdin SV / Izvestiya of the Tula State University. Technical Sciences, 2016. - Issue 8. Part 1.- C187-193.
14. Vozhzhov AA Power Interactions at Finishing Shaped Grooving of Collector Rings / Vozhzhov AA, Golovin VI / / Bulletin of Modern Technologies: Sat. Sci. Tr. Sevastop. State. Un-t; . - Sevastopol: SevGU, 2016. - Issue. 1.- 88 sec. (P.10-20).
15. Vozhzhov A.A. Analysis of the relative forced oscillations of tools and parts during shaped turning / Vozhzhov AA, Khudaymuratov M.A. // Bulletin of modern technology: Sat. Sci. Tr. Sevastop. State. Un-t; . - Sevastopol: SevGU, 2016. - Issue. 3.-88 sec. (P. 16-28).

УДК 331.43

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ

Л.А. Ничкова¹, Г.А. Сигора¹, Л.И. Осадчая¹, Т.Ю. Хоменко¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Рассмотрены физиологические аспекты воздействия ИК-излучения на организм работающих. Были получены данные о влиянии спектрального состава излучения на терморегуляторные реакции, что свидетельствует о взаимосвязи энергетических характеристик и биологических эффектов. Рассмотрен механизм воздействия ИК-излучения на организм человека, выявлены позитивные и отрицательные физиологические эффекты. Проведены морфологическое и цитометрическое исследования мазков крови человека после воздействия ИК-излучения. Установлено, что уровень физиологических изменений в организме под воздействием инфракрасного излучения зависит от интенсивности, спектрального состава, продолжительности действия ИК-излучения; площади и участка облучения; степени физического напряжения, а также факторов производственного микроклимата – температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Ключевые слова: излучение, физиологический эффект, облучение, эксперимент in vitro, нормобласты, мегалобласты.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE INFLUENCE OF IR RADIATION ON THE BODY WORKING

L.A. Nichkova¹, G. A. Sigora¹, L. I. Osadchaya¹, T. Y. Khomenko¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

Physiological aspects of impact of IR-radiation on an organism of working are considered. Data on influence of spectral structure of radiation on thermoregulatory reactions have been obtained that demonstrates interrelation of power characteristics and biological effects. The mechanism of impact of IR-radiation on a human body is considered, positive and negative physiological effects are revealed. Morphological and cytometric researches of dabs of blood of the person after influence of IR-radiation are conducted. It is established that the level of physiological changes in an organism under the influence of infrared radiation depends on intensity, spectral structure, duration of action of IR-radiation; areas and участка radiations; degrees of physical tension and also factors of a production microclimate – temperature, humidity and the speed of the movement of air.

Keywords: radiation, physiological effect, radiation, experiment of in vitro, normoblasta, megaloblasta.

Спектр электромагнитного излучения природного и техногенного происхождения, оказывающий влияние на человека, как в условиях быта, так и в производственных условиях имеет широкий диапазон волн. Характер воздействия на человека электромагнитного излучения в разных диапазонах различен. В связи с этим значительно различаются и требования к нормированию различных диапазонов электромагнитного излучения.

В зависимости от диапазона длин волн различают: электромагнитное излучение радиочастот ($10^7 \dots 10^{-4}$ м), инфракрасное излучение ($< 10^{-4} \dots 7,5 \cdot 10^{-7}$ м), видимую область ($7,5 \cdot 10^{-7} \dots 4 \cdot 10^{-4}$ м), ультрафиолетовое излучение ($< 4 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-9}$ м), рентгеновское излучение, гамма-излучение ($< 10^{-9}$ м) и др.

По длине волны инфракрасные лучи делятся на коротковолновую ИКИ-А (менее 1,4 мкм), средневолновую ИКИ-В (1,4...3 мкм), длинноволновую ИКИ-С (3 мкм...1 мм) область. В производственных условиях

гигиеническое значение имеет более узкий диапазон (0,76...70 мкм) [1].

Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело.

Длина волны максимального излучения нагретого тела обратно пропорциональна его абсолютной температуре. При температуре твердого тела 400...500 °С излучение происходит главным образом в области длинных волн.

Интенсивность теплового излучения на рабочих местах может колебаться от 175 Вт/м² до 13 956 Вт/м². К горячим цехам относят цеха, в которых тепловыделение превышает 23 Дж/м².

В литейных цехах (нагрев и обработка деталей) интенсивность теплового излучения составляет 1392...3480 Вт/м².

В производственных помещениях с большим тепловыделением (горячие цеха) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемой теплоты и только 1/3 на конвекционную теплоту [2].

Инфракрасное (ИК) излучение играет важную роль в теплообмене. Кожа человека является органом, обильно снабженным кровеносными сосудами, поэтому реакции, происходящие при поглощении излучения, имеют не только местное проявление, но и носят общий характер. Наибольшее проникновение в тело человека происходит в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра. В области дальнего ИК-диапазона (ИК-С) происходит максимальное поглощение излучения поверхностными слоями кожи и может вызвать повышение температуры кожи и ожоги. Эту зависимость хорошо отражает рисунок 1 [3]. Из него следует, что для эффективного и глубокого нагрева тела человека необходимо облучать его волнами ближнего ИК-А и среднего ИК-В инфракрасного диапазона. В этом случае поток ИК-энергии будет проникать глубоко в организм, и поглощаться всем объемом живой ткани организма (мышцами), а не поглощаться верхними слоями кожи.

Глубина проникновения инфракрасного излучения зависит не только от длины волны, но и от влажности кожи, ее кровенаполнения и других факторов. На (рис. 1 и 2)

приведены коэффициенты поглощения для воды и ткани человеческих органов в зависимости от длины волны [3-4]. Они имеют близкие значения и свидетельствуют о том, что ткани содержат значительное количество воды.

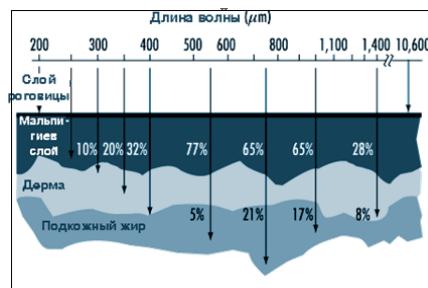


Рис. 1. Глубина проникновения ИК – излучения в тело человека в зависимости от спектральных характеристик излучения [3]

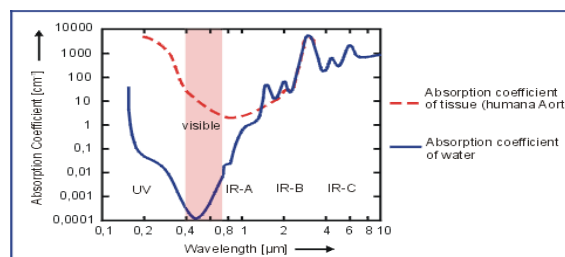


Рис. 2. Коэффициенты поглощения для воды и тканей человеческих органов в зависимости от длины волны [4]

Количество поглощённой энергии зависит от длины выделяемых излучателем волн, что определяет глубину проникновения излучения в тело человека. Справедлив постулат для оптического диапазона – чем меньше длина волны, тем больше проникающая способность. Следовательно, наибольшей проникающей способностью обладает излучение в области А, которое проникает через кожные покровы и поглощается кровью и подкожной жировой клетчаткой. Излучение областей В и С большей частью поглощается в эпидермисе.

Степень воздействия на человека также зависит от интенсивности излучения: при воздействии потоков энергии интенсивностью 70 – 100 Вт/м² в организме повышается активность биохимических процессов, что ведёт к улучшению общего состояния человека, интенсивность 420 Вт/м² предполагается благоприятной для организма, а уже

при 440 Вт/м² является дискомфортной, наблюдается повышение содержания свободных радикалов в организме. При интенсивности 460 Вт/м² (гипертермической интенсивности) происходит хемилюминесценция крови.

Установлено, что на многих промышленных предприятиях человек почти весь рабочий день находится под облучением. Его интенсивность составляет 2100 – 4900 Вт/м² в цехах по выработке стекла, 7000 – 14000 Вт/м² у доменных и мартеновских печей [5].

Это приводит к возникновению заболеваний сердечно – сосудистой и центральной нервной систем, поражению органов зрения и других систем и требует чёткой оценки степени опасности, создаваемой этим фактором. Интенсивность облучения является причиной многих болезней и сокращает срок жизни людей.

При длительном нахождении человека в зоне ИК-излучения происходит резкое нарушение теплового баланса тела, повышается температура, усиливается потоотделение соответственно с потерей нужных организму солей. При длительном воздействии ИК-излучения на глаза может развиваться катаракта; величины площади облучения, удалённость человека от источника излучения, угол излучения, а также облучаемая площадь имеют огромное значение в плане способности человека переносить инфракрасную радиацию. Эффекты от воздействия ИК-излучения на организм могут быть как положительными, так и отрицательными [6].

Рассмотрим *положительные* эффекты ИК-излучения. В инфракрасном спектре есть область с длинами волн примерно от 7 до 14 мкм (средневолновая часть ИК-диапазона), оказывающая на организм человека по-настоящему уникальное полезное действие. Эта часть ИК-излучения соответствует излучению самого человеческого тела с максимумом на длине волны около 10 мкм. Поэтому любое внешнее излучение с такими длинами волн человеческий организм воспринимает как «своё», поглощает его и оздоравливается. Воздействуя на организм человека в длинноволновой части ИК-

диапазона, можно получить явление, называемое «резонансным поглощением», при котором внешняя энергия будет активно поглощаться организмом. В результате этого воздействия повышается потенциальная энергия клетки организма, и из неё уходит несвязанная вода, повышается деятельность специфических клеточных структур, растёт уровень иммуноглобулинов, увеличивается активность ферментов и эстрогенов, происходят и другие биохимические реакции. Это касается всех типов клеток организма и крови [7].

Механизм позитивного действия ИК – излучения сводится к следующим физиологическим эффектам:

- ✓ местная гипертермия – тепловая эритема (покраснение), появляется во время излучения и через 30-60 минут исчезает. Вызванная ИК-лучами гиперемия оказывает болеутоляющее действие;
- ✓ кратковременный спазм сосудов, сменяющийся их расширением, усиление кровотока, улучшение циркуляции крови;
- ✓ увеличение проницаемости стенок капилляров;
- ✓ усиление тканевого обмена, активация окислительно-восстановительных процессов, антиоксидантное действие, улучшение обмена веществ;
- ✓ противовоспалительный эффект – повышение местного лейко- и фагоцитоза, стимуляция иммунобиологических процессов;
- ✓ ускорение обратного развития воспалительных процессов;
- ✓ ускорение тканевой регенерации, заживления повреждений;
- ✓ увеличение местной сопротивляемости тканей к инфекции;
- ✓ рефлекторное снижение тонуса поперечно-полосатой и гладкой мускулатуры – уменьшение болей, связанных с их спазмом;
- ✓ зудоуспокаивающее действие, вследствие изменения чувствительности кожи [9].

Отрицательные эффекты ИК-излучения следующие: при длинноволновом излучении повышается температура поверхности тела, а при коротковолновом – изменяется температура лёгких, головного мозга,

почек и некоторых других органов человека. Значительное изменение общей температуры тела ($1,5-2^{\circ}\text{C}$) происходит при облучении инфракрасными лучами большой интенсивности. Воздействуя на мозговую ткань, коротковолновое излучение вызывает "солнечный удар". Человек при этом ощущает головную боль, головокружение, учащение пульса и дыхания, потемнение в глазах, нарушение координации движений, возможна потеря сознания. При интенсивном облучении головы происходит отёк оболочек и тканей мозга, проявляются симптомы менингита и энцефалита. При воздействии на глаза наибольшую опасность представляет коротковолновое излучение. Возможное последствие воздействия инфракрасного излучения на глаза – появление инфракрасной катаракты. Тепловая радиация повышает температуру окружающей среды, ухудшает её микроклимат, что может привести к перегреву организма.

Отрицательное влияние ИК-излучения на здоровье работающих людей в условиях производства имеет место в условиях превышения уровней инфракрасного излучения. Это приводит к возникновению заболеваний сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, поражению органов зрения и других систем и требует четкой оценки степени опасности, создаваемой этим фактором. Многообразие нарушений, обнаруживаемых в организме от воздействия ИК-лучей, по-видимому, трудно объяснить лишь поглощением их кожей, тканями и их нагреванием, что приводит к переполнению кровеносных сосудов и усилению обмена веществ.

Были получены также данные о влиянии спектрального состава излучения на терморегуляторные реакции, что свидетельствует о взаимосвязи энергетических характеристик и биологических эффектов. Терморегуляционная реакция приводит к расширению сосудов, увеличению объема циркулирующей в них крови и усилению потоотделения [5-8]. Уровень повышения температуры кожных покровов выше $1,0...1,8^{\circ}\text{C}$ является фактором риска возникновения повреждений [10-11].

С целью выявления возможных повреждений в лабораторных условиях моделировалось излучение с максимумом энергии при $\lambda=1,5...4,5$ и $6,0$ мкм и интенсивности облучения от 70 до 700 Вт/м^2 . В течение 30 мин облучалась передняя поверхность тела человека (25% всей поверхности), частично защищенная одеждой с максимумом облучения на груди. Открытые облучаемые поверхности кожи составляли $0,4\text{ м}^2$ (лицо, шея, верхняя часть груди, кисти рук, предплечья). Наиболее выраженная реакция организма (изменение температуры облученных участков кожи, особенно при малых интенсивностях облучения), наблюдалась в зависимости от спектра облучения.

Облучение с λ_{max} в области от $3...6$ мкм в основном поглощается эпидермисом. Именно излучение в таких диапазонах приводит к значительному повышению температуры кожи, неблагоприятным теплоощущениям, но меньшему накоплению тепла, вероятно, в результате замедленного вовлечения в реакции глубже лежащих тканей. Излучение с $\lambda_{\text{max}} = 4,5$ мкм входит в участок спектра $3,5...4,5$ мкм, наименее поглощаемый структурными элементами тканей кожи. Реакции при большой длине волны протекают при поглощении значительных количеств энергии, и организм более адекватно реагирует на воздействие излучения в этой области спектра.

Излучение с разными длинами волн действует по-разному на работающих людей. При облучении излучением с $\lambda_{\text{max}} = 3$ и 6 мкм наблюдается наибольшее повышение температуры кожных покровов и скорости ее нарастания. Однако теплонакопление становится наибольшим при $\lambda_{\text{max}} = 1,5$ мкм. При излучении 70 Вт/м^2 у большинства отмечается чувство приятного тепла. Неприятные ощущения, чувство жжения появляется при интенсивности облучения 175 Вт/м^2 и выше, особенно при длине волн 3 и 6 мкм.

Температура облучаемых участков кожи может быть одним из критериев степени воздействия излучения. Кожные покровы при воздействии на них излучения оптического диапазона, частью которого является ИК-излучение, играют особую роль в опре-

делении теплосодержания организма и характера протекающих биофизических и биохимических процессов.

Длительное воздействие ИК-излучения больших интенсивностей в условиях производства может способствовать развитию заболеваний сердечно-сосудистой системы (миокардиодистрофия, атеросклеротический кардиосклероз, ИБС), нервной системы (неврозы, неврастения, полиневриты и т.д.), желудочно-кишечного тракта, снижает уровень естественной резистентности организма, что способствует повышению уровня неспецифической заболеваемости. Прямое действие ИК излучения на незащищенные глаза может быть причиной возникновения конъюнктивита, сухости сред глаза, катаракты.

Превращение поглощенного ИК-излучения в тепловую энергию изменяют терморегуляторные процессы, что выражается в повышении температуры кожных покровов, теплонакоплении, обильном потоотделении. В терморегуляторные реакции активно включается система кровообращения – учащается сердцебиение, изменяется сосудистый тонус. Эти явления могут сопровождаться нарушением сократительной функции миокарда, состоянием гипоксии.

В данной работе использованы материалы исследования мазков крови, которые были объединены с ранее полученными данными [12-15]. Это позволило расширить выборочные совокупности и уточнить полученные ранее результаты.

Опыты *in vitro* выполнены на образцах цитратной крови человека, которые получены в клинической лаборатории 1-ой городской больницы г. Севастополя. В задачу настоящей работы входила обработка гистологического материала: морфологическое и цитометрическое исследования мазков крови человека после воздействия ИК-излучения (табл. 1).

Таблица 1. Содержание аномальных эритроидных форм в крови человека в условиях воздействия коротковолнового ИК-излучения (эксперимент *in vitro*)

Аномальные эритроидные формы	n	Длительность воздействия ИК-излучения, мин			
		0	20	40	60
Полихроматофилы	5	-	-	-	-
Гипохромные	5	-	2.93±0.04*	3.50±0.05*	3.02±0.07*
Звездчатые	5	-	-	-	-
Овальные	5	-	-	0.87±0.02*	0.71±0.03*
Деформированные	5	-	3.76±0.08*	4.16±0.11*	4.61±0.09*

Примечание: n – число обработанных мазков; * – достоверные отличия при $p < 0,001$

Как видно из (табл. 1) при увеличении времени воздействия ИК-излучения возникают разнообразные аномальные эритроидные формы: гипохромные, овальные, деформированные.

Таким образом, рассмотрев физиологические аспекты воздействия ИК-излучения на организм работающих, можно сделать вывод, что уровень физиологических изменений в организме под воздействием инфракрасного излучения зависит от интенсивности, спектрального состава, продолжительности действия ИК-излучения; площади и участка облучения; степени физического напряжения, а также факторов производственного микроклимата – температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Список литературы

1. Кузин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов/ П.П. Кукин, В. Т. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. — 4-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2007. — 335 с.: ил
2. Лапин В.Л. Охрана труда в литейном производстве / В.Л. Лапин, Н.И. Сердюк. - М.: Машиностроение, 1989. — 128 с.
3. Энциклопедия по охране и безопасности труда. Четвертое издание CD-ROM версия // Международная организация труда. – Женева, 2005.
4. Wang A. Targeting spectral signatures of progressively dysplastic stratified epithelia using angularly variable fiber geometry in reflectance Monte Carlo simulations//Wang A. Nammalavar V., Drezek R. Journal of Biomedical Optics. 2007. Т. 12. № 4.
5. Гигиена труда: учебник / Под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. 2010. - 592 с.
6. Гигиена труда при воздействии электромагнитных полей / Под ред. Ковшило В.Е.- М.: Медицина, 1983. - 175с.
7. Гвозденко Л.А. Особенности влияния спектра и интенсивности инфракрасного излучения на ор-

ганизм при сварочных работах / Л.А. Гвозденко // Гигиена труда. –1983. – Вып. 19. –С. 25-29.

8. Занько Н.Г. Медико-биологические основы безопасности: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Техносферная безопасность" / Н. Г. Занько, В. М. Ретнев. - 4-е издание, переработанное и дополненное. - Москва: Академия, 2013. - 254 с.
9. Пономаренко Г. Н. Основы физиотерапии: учебник для студентов, обучающихся по специальностям: 040100 - Лечебное дело; 040200 - Педиатрия; 040300 - Медико-профилактическое дело / Г. Н. Пономаренко. - Москва: Медицина, 2008. - 411 с.
10. Gromysz-Kalkowska K., Szubartowska E. Toxicity of tetrachlorwinfos to *Rana temporaria* L. // *Comp. Biochem. Physiol.* –1993. -V. 105C, N 2. -P. 285-290.
11. Maldonado H.M., Cala P.M. Labeling of the Amphiuma erythrocyte K⁺/H⁺ exchanger with H₂ DIDS // *Am. J. Physiol.* –1994. -V. 267, N 4. –P. 1002-1011.
12. Стенко М.И. Кровь / М.И. Стенко // Справочник по клиническим и лабораторным методам исследования. – М.: Медицина, 1975. –С. 5-135.
13. Золотницкая Р.П. Методы гематологических исследований / Р.П. Золотницкая // Лабораторные методы исследования в клинике (справочник). – М.: Медицина, 1987. – С. 106-149.
14. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. - М.: Высшая школа, 1980.- 291 с.
15. Ничкова Л.А. Влияние ИК-излучения на поведение и гематологические характеристики циркулирующей крови / Л.А. Ничкова, А.А. Солдатов, В.В. Севриков // Вестник СевГТУ Вып. 39: Механика, энергетика, экология. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – С. 109-112.

References

1. Kuzin P. P. Health and safety. Safety of technological processes and productions (Labor protection): Studies. a grant for vu-zov / P.P. Kukin, B. T. Lapin, N.L. Ponomarev, etc. — 4 prod., reslave. M.: Vyssh. shk., 2007. — 335 pages: silt
2. Lapin V.L. Labor protection in foundry production / V.L. Lapin, N.I. Serdyuk. - M.: Mechanical engineering, 1989. — 128 pages.
3. The encyclopedia on protection and safety of work. Fourth CD ROM edition version//International Labour Organization. – Geneva, 2005.
4. Wang A. Targeting spectral signatures of progressively dysplastic stratified epithelia using angularly variable fiber geometry in reflectance Monte Carlo simulations // Wang A. Nammalavar V., Drezek R. *Journal of Biomedical Optics*. 2007. T. 12. No. 4.
5. Occupational health: the textbook / Under the editorship of N.F. Izmero-va, V.F. Kirillova. 2010. - 592 with.
6. Occupational health at influence of electromagnetic fields / Under the editorship of Kovshilo V.E. - M.: Medicine, 1983. - 175 pages.
7. Gvozdenko L.A. Features of influence of a range and intensity of infrared radiation on an organism during the welding works/L. A. Gvozdenko // *Occupational health*. –1983. – Issue 19. – Page 25-29.
8. Zanko N.G. Medicobiological bases of safety: the textbook for students of the highest educational institutions studying in the direction of training of bachelors "Tekhnosfernaya safety" / N.G. Zanko, V.M. Retnev. - the 4th edition processed and added. - Moscow: Academy, 2013. - 254 pages.
9. Ponomarenko G. N. Fundamentals of physical therapy: the textbook for the students studying on specialties: 040100 - Medical business; 040200 - Pediatrics; 040300 - Medico-preventive business / G.N. Ponomarenko. - Moscow: Medicine, 2008. - 411 pages.
10. Gromysz-Kalkowska K., Szubartowska E. Toxicity of tetrachlorwinfos to *Rana temporaria* L. // *Comp. Biochem. Physiol.* –1993. - V. 105C, N 2. - P. 285-290.
11. Maldonado H.M., Cala P.M. Labeling of the Amphiuma erythrocyte K⁺/H⁺ + exchanger with H₂ DIDS // *Am. J. Physiol.* –1994. - V. 267, N 4. – P. 1002-1011.
12. Stenko M.I. Wall. Blood / M. I. Stenko // Reference book on clinical and laboratory methods of a research. – M.: Medicine, 1975. – Page 5-135.
13. Zolotnitskaya R. P. Methods of the hematologic researches / Genitive Zolotnitskaya // Laboratory methods of a research in clinic (reference book). – M.: Medicine, 1987. – Page 106-149.
14. Lakin G.F. Biometrics / G.F. Lakin. - M.: The higher school, 1980. - 291 pages.
15. Nichkova L.A. Influence of IK-radiation on behavior and hematologic characteristics of the circulating blood/L. A. Nichkova, A.A. Soldatov, V.V. Sevrikov // Messenger of SEVG TU of the Issue 39: Mechanics, power, ecology. – Sevastopol: Publishing house of SEVNTU, 2002. – Page 109-112.

УДК 664.68

ТЕХНОЛОГИЯ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О.В. Светличная¹, Н.И. Покинтелица¹¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Проведено исследование ассортимента мучных кондитерских изделий специального назначения. Обоснованы технологические параметры производства кексов и исследовано влияние технологических факторов на структурно-механические свойства (адгезия, пористость) изделий. Подобрано рациональное соотношение всех необходимых ингредиентов. Разработана технология приготовления кексов для военнослужащих с повышенным содержанием пищевых волокон, с использованием тыквенного и бананового пюре. На основе полученной технологии определены пищевая ценность и минеральный состав изделия по сравнению с традиционным продуктом. Проведены исследования органолептических показателей готовых кексов. Доказана эффективность реализации нового продукта в условиях общественного питания и специализированных кондитерских цехах.

Ключевые слова: мучные кондитерские изделия, военнослужащие, кексы, тыквенно-банановое пюре, адгезия, пористость.

TECHNOLOGY OF CONFECTIONERY PRODUCTS OF SPECIAL PURPOSE

O.V. Svetlichnaya¹, N.I. Pokintelitsa¹¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The research of assortment of flour confectionery products of special purpose is carried out. The technological parameters of the production of cupcakes are substantiated and the influence of technological factors on the structural and mechanical properties (adhesion, porosity) of products is investigated. A rational ratio of all the necessary ingredients is chosen. The technology of preparing cupcakes for servicemen with high content of dietary fiber, using pumpkin and banana puree, has been developed. Based on the obtained technology, the nutritional value and mineral composition of the developed product are determined in comparison with the traditional product. Studies of the appearance, taste, smell and consistency of ready-made confectionery products were carried out. The effectiveness of the implementation of muffins in the conditions of public catering and specialized confectionery shops is proved.

Keywords: flour confectionery, servicemen, muffins, pumpkin-banana puree, adhesion, porosity.

Введение

Питание существенно влияет на здоровье, а также на состояние защитных сил организма человека и имеет важное значение для поддержания иммунной системы, профилактики обострений хронических заболеваний и развития новых болезней, связанных с хроническим стрессом. Недостаточная обеспеченность организма макро- и микронутриентами может привести к снижению адаптационных резервов и росту различных заболеваний.

Для военнослужащих рациональным является питание, при котором качественное и

количественное соотношение веществ в суточном рационе и распределение их по приемам в течение дня отвечают потребностям организма и обеспечивают высокую боеспособность офицера и солдата. Пищевой рацион, или паек, военнослужащего должен обеспечивать организм энергетическим материалом и питательными веществами, необходимыми для нормального функционирования организма [1].

Одним из путей решения существующей проблемы является совершенствование технологии мучных кондитерских изделий, путем повышения содержания в них пищевых волокон. Среди изобилия кондитерских из-

делий были выбраны кексы, поскольку они достаточно популярны среди населения. Поэтому разработка данного функционального продукта для военнослужащих является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций

При разработке мучных кондитерских изделий специального назначения основное внимание уделяется увеличению содержания в них специальных ингредиентов (пищевых волокон, белков, витаминов, антиоксидантов и др.) и снижению энергетической ценности. Приоритетным направлением повышения биологической ценности кондитерских изделий является введение в их рецептуры специальных сырьевых компонентов – носителей независимых аминокислот, витаминов, минеральных веществ.

Было отмечено, что перспективными добавками являются: свекольный жом (клетчатка, пектин), нетрадиционное фруктово-ягодное сырье (калина, тыквенное пюре, облепиховый порошок и др.), соевые обогатители, а также смесь различных пряностей [2]. Растительное сырье служит источником биологически активных соединений, которые даже в минимальном количестве оказывают стимулирующее действие на организм человека. Известно о возможности использования фитодобавок из лекарственных трав в производстве жележных и збитых полуфабрикатов, а также печенья, тортов и пирожных специального назначения. Разработаны технологические инструкции по приготовлению жележных и зефирных масс на настоях овса, а также на нескольких травяных сборах, включающих шиповник, траву череды, листья Melissa, мяты, крапивы и других лекарственных растений [3].

При производстве мучных кондитерских изделий целесообразно использовать такой нетрадиционный вид сырья, как зародыши пшеницы. В них содержится 30-33 % белка, 10-13 % жира, 10-12 % сахаров, 15-25 % крахмала. Кроме того, они богаты микро- и макроэлементами, витаминами [4].

В производстве пряников рекомендуется использовать сухое соевое молоко и соевое масло. При этом в готовых изделиях увеличивается содержание белка, витаминов B₁, B₂, B₄, E, фолатина, биотина, холина, которые являются сосудорасширяющими веществами, и способны снижать в организме человека уровень холестерина. А также достигается увеличение срока годности пряников [5].

Актуальным решением в производстве печенья, пряников, тортов, рулетов, кексов является создание рецептур и технологий с добавлением пектина, пектиносодержащего сырья и β-каротина. Так была разработана рецептура торта «Здоровье», в которую, наряду с традиционным сырьем вошли низкоэтерифицированный пектин и β-каротин. В качестве выпеченного полуфабриката был использован бисквит, который вмещал 2 г пектина и 6 мг β-каротина на 100 г готового полуфабриката. В качестве основного отделочного полуфабриката использовалась пастильная масса, которая была изготовлена на яблочном пектине (2,5 г пектина и 12 мг β-каротина на 100 г готового полуфабриката). Другим отделочным полуфабрикатом было желе. В качестве студнеобразователя для него использовали яблочный пектин (2,5 г на 100 г готового полуфабриката), а для формирования цвета и повышения биологической ценности был использован β-каротин (20 мг на 100 г готового полуфабриката). Таким образом, энергетическая ценность такого изделия составляет 270-300 ккал, что значительно ниже, чем в традиционных кондитерских изделиях [6].

Особый интерес в производстве лечебно-профилактических мучных кондитерских изделий представляет препарат «Маринид» – продукт переработки бурых водорослей (ламинарий). Он может использоваться как энтеросорбент, который выводит из организма токсичные вещества и добавки. В порошке «Маринид» содержатся полисахариды и не менее 0,01 % йода. Йод присутствует в водорослях в виде органических соединений, чем обусловлено отсутствие риска передозировки. Рекомендуется его добавлять в количестве 1-2 % к массе сырья в изделия [7].

Использование полифункциональных растительных добавок, таких как микрокристаллическая целлюлоза, морские водоросли, пектины, позволяют расширить ассортимент кондитерских изделий, а также снизить калорийность и продлить их срок годности [8].

В качестве функциональных ингредиентов, позволяющих усовершенствовать традиционную рецептуру, были выбраны тыква и банан.

Преимуществом использования тыквы есть небольшая стоимость этой добавки, а также богатый витаминно-минеральный состав. Характерной особенностью тыквы является низкое содержание клетчатки (0,3-1,2 %), она не волокниста, хорошо разваривается и легко усваивается организмом. Плоды тыквы очень богаты пектином (2,6-14,0 %), который способствует выведению из организма холестерина [9].

Банан является очень полезным фруктом. В нем находятся ферменты, способствующие усвоению углеводов, яблочная кислота, сахар и крахмал, пектиновые вещества и клетчатка. В составе этого фрукта содержатся соли калия, которые способствуют выведению жидкости из организма и обеспечивают работу сердца. Бананы полезны военнослужащим, имеющим желудочно-кишечные заболевания и болезни печени [10]. Использование тыквенного и бананового пюре в технологии производства кексов способствует повышению содержания пищевых волокон и удовлетворению суточной потребности человека в микроэлементах.

Постановка задания

Целью разработки технологии мучных кондитерских изделий специального назначения является сбалансирование рациона военнослужащих за счет повышения содержания пищевых волокон в разработанной продукции.

Объект исследования – технология производства мучных кондитерских изделий специального назначения.

Предмет исследования: кексы, плодово-овощные пюре (тыквенные, банановое), оре-

хи, мука пшеничная высшего сорта, яйца куриные, масло сливочное, сахар, сметана 15%-жирности, пряности.

В основу разработки новой технологии мучного изделия специального назначения было положено традиционную рецептуру кекса «Столичный» [11]. Для повышения содержания пищевых волокон и улучшения минерального состава кексов предусмотрено введение в состав фруктово-овощного пюре. Для определения количественного состава и процентного соотношения рецептурных компонентов кексы исследовались по органолептическим показателям. Органолептический анализ мучных изделий проводился профильным методом с использованием пятибалльной шкалы.

В ходе исследований были выбраны следующие образцы:

№ 1 – кекс с добавлением тыквенного пюре 6 %;

№ 2 – кекс с добавлением тыквенного пюре 15 %;

№ 3 – кекс с добавлением бананового пюре 6 %;

№ 4 – кекс с добавлением бананового пюре 15 %;

№ 5 – кекс «Тыквенно-банановый»

Экспериментально было установлено, что при включении в традиционный состав рецептуры кекса «Столичный» пюре тыквы 15 % и пюре банана 15 %, органолептические показатели данного изделия существенно не меняются.

На основании проведенных исследований был разработан проект новой рецептуры мучного изделия «Кекс тыквенно-банановый».

Методика исследования

В ходе работы были исследованы структурно-механические свойства теста – адгезия и пористость.

Методы измерения адгезии основаны на разрушении адгезионной связи путем применения внешнего усилия. Адгезиметры – приборы, предназначенные для определения силы адгезии вязкопластичных веществ к твердым поверхностям. Их принцип дей-

ствия основан на измерении силы тензометрическим способом, необходимой для отрыва твердого тела от исследуемой пищевой массы [12].

Величина силы адгезии рассчитывается по формуле [13]:

$$P_o = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P_o – адгезия (прилипание), Па; P – максимальная сила отрыва, Н; F – площадь пластины, m^2 .

Пористость мучных кондитерских изделий определяется по методу Завьялова с помощью прибора Журавлева, который предназначен для выделения из хлебобулочного изделия образца определенного объема, по результатам взвешивания которого расчетным путем определяется пористость хлеба.

С середины изделия вырезают кусок мякоти, из которого с помощью цилиндра прибора вращательным движением делают выемки. Заполненный мякишем цилиндр укладывают на лоток, так, чтобы ободок цилиндра плотно входил в прорезь, что имеется в лотке. Затем мякоть с помощью деревянной втулки выталкивают из цилиндра примерно на 1 см и срезают его у края цилиндра острым ножом [14].

Объем вырезанной мякоти определяется по формуле [14]:

$$V = \frac{3,14 \cdot d^2 \times H}{4}, \quad (2)$$

где V – объем вырезанной мякоти, cm^3 ; d – внутренний диаметр цилиндра, см; H – длина цилиндра, см.

Приготовленные выемки взвешивают.

Пористость определяется по формуле [14]:

$$X = \frac{V - G/P}{V} \times 100\%, \quad (3)$$

где X – пористость, %; V – объем выемки, cm^3 ; G – масса выемки, г; P – плотность беспористой массы мякоти (принимают равной 1,31).

Обсуждение и результаты

Влияние добавления в состав мучных кондитерских изделий тыквенного и банано-

вого пюре на структурно-механические свойства теста и готового изделия представлены в (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Исследование структурно-механических показателей образцов кексов

Структурно-механические показатели	Образцы			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Адгезия, Па	7,9	8,3	12,2	12,5
Пористость, %	63,2	63,8	64,1	65,0

Таблица 2. Исследование структурно-механических показателей готовых кондитерских изделий

Структурно-механические показатели	Кекс «Столичный»	Кекс «Тыквенно-банановый»
Адгезия, Па	7,6	11,3
Пористость, %	61,6	62,0

В ходе измерения адгезии, было замечено, что с увеличением концентрации добавок, ее показатели увеличивались. Так при добавлении в рецептуру кексов тыквенного пюре в количестве 6 и 15 %, показатели адгезии составили 7,9 и 8,3 Па соответственно. А при добавлении бананового пюре при такой же концентрации – 12,2 и 12,5 Па соответственно. Замечено, что при введении в рецептуру бананового пюре адгезия выше, чем при добавлении тыквенного пюре. Так, при включении в состав тыквенного и бананового пюре концентрацией 15 %, адгезия равна 8,3 и 12,5 Па. Это объясняется тем, что в тыквенном пюре содержится больше воды. Поэтому сочетание тыквенного пюре с банановым наилучшим образом повлияет на консистенцию готового изделия. Это подтверждают показатели адгезии готовых изделий. Видно, что ее значение в кексе «Тыквенно-банановый» значительно превышают показатели адгезии в контрольном образце (кекс «Столичный») и составляют 11,3 и 7,6 Па соответственно.

При исследовании пористости образцов можно было наблюдать аналогичную ситуацию. С увеличением концентрации добавок пористость увеличивалась, наибольшие показатели ее представлены в образцах № 2 и № 4 и составляют 63,8 и 65,0% соответ-

ственно. Также отмечено, что пористость разработанного кекса выше, в сравнении с контрольным образцом. Это говорит о том, что новое изделие будет отличаться наиболее высокими органолептическими показателями по сравнению с традиционным изделием.

Расчет пищевой ценности и минерального состава проводится путем расчета белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ компонентов, входящих в состав продукта (табл. 3) [15].

Таблица 3. Показатели пищевой ценности готовых кондитерских изделий

Наименование веществ	Кекс «Столичный»	Кекс «Тыквенно-банановый»
Белки, г	8,58	13,03
Жиры, г	4,22	7,68
Углеводы, г	41,84	46,66
Пищевые волокна, г	7,00	8,44
Витамин А, мг	0,10	0,06
Витамин В ₁ , мг	0,24	0,20
0,23 Витамин В ₂ ,	0,17	0,23
Витамин В ₉ , мг	0,03	0,02
Витамин В ₁₂ , мг	0,00	0,05
Витамин С, мг	2,11	1,87
Витамин Е, мг	0,70	0,53
Витамин В ₃ , мкг	3,79	2,99
Кальций, мг	43,38	121,56
Фосфор, мг	203,74	207,55
Натрий, мг	679,8	327,65
Магний, мг	76,19	114,32
Калий, мг	284,18	472,82
Железо, мг	2,46	2,32
Энергетическая ценность, ккал/100 г	254,18	298,00

Полученные результаты показали, что значение энергетической ценности разработанного изделия выше, по сравнению с традиционной продукцией. Отмечено, что новый продукт влияет на рацион военнослужащих следующим образом:

1. При включении в общеевойсковой паек тыквенно-банановый кекс обеспечит суточную потребность военнослужащего в белках на 12,9%, жирах на 10%, углеводах

на 7,75%, а также удовлетворит суточную энергетическую ценность на 8,3%.

2. При включении данного изделия в морской паек, суточная потребность в белках обеспечиться на 11,5%, в жирах на 9,4 %, углеводах на 7,3%, суточная энергетическая ценность при этом обеспечиться на 7,78%.

3. При включении кекса тыквенно-бананового в курсантский паек, суточный рацион солдата будет обеспечен белками на 11,5 %, жирами на 9,4 %, углеводами на 7,2 %, также данный продукт удовлетворит суточную энергетическую ценность на 7,6 %.

4. При включении кексов в летный паек, суточная потребность в белках будет удовлетворена на 8,9 %, в жирах на 4,86 %, в углеводах на 7,71 %, энергетическая ценность при этом обеспечиться на 6,55 %.

Выводы

Таким образом, кекс тыквенно-банановый является продукцией специального назначения и может использоваться в питании военнослужащих. О чем свидетельствует значительное содержание витаминов и минеральных веществ, а также пищевых волокон.

Так как, улучшение структуры питания военнослужащих Российской Федерации предусматривает увеличение производства сбалансированных пищевых продуктов, то разработанную технологию можно эффективно реализовывать в условиях общественного питания и через специальные кондитерские цеха.

Список литературы

1. Ковалев Н.И. Технология приготовления пищи / Н.И. Ковалев, М.Н. Куткина, В.А. Кравцов – М: Омега-Л, 2005. – 480 с.
2. Salihifar M. Effects of oat flour on dough rheology, texture and organoleptic properties of taftoon bread / M.Salihifar, M.Shahedi //J. Agric. Sci. Technol. – 2007. - №3 – С. 227-234.
3. Азгамова Л.И. Производство мучного кондитерского изделия повышенной пищевой ценности / Л.И. Азгамова [и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 11. – С. 264-268.

4. Василенко І. І. Традиційні та нетрадиційні види сировини у виробництві кондитерських борошняних виробів / І. І. Василенко // Формування механізмів управління якістю та підвищення конкурентоспроможності підприємств: тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Дніпропетровськ, 26 березня 2015 р.). – Дніпропетровськ, 2015. – С. 39-41.
5. Rossell C.M. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. / C. M Rossell, J.A. Rojas, Beredicto de Barber C. // Food Hydrocolloids – 2007. - № 1- С. 75-81.
6. Гладка А.Д. Разработка рецептуры торта «Здоровье» с использованием низкоэтерифицированного пектина и β-каротина / А.Д. Гладка // Журнал «Мир продуктов». – 2009. – № 9 (58) – С 36-40.
7. <http://marinid.com/n16.htm> (дата обращения 2.06.2017).
8. Бобренева И.В. Подходы к созданию функциональных продуктов питания: монография – СПб: ИЦ Интермедия, 2012. – 465 с.
9. Ежова К.С., Семена тыквы – функциональный ингредиент для создания новых продуктов питания / К.С. Ежова, М.В. Михайленко, Ю.Н. Никонovich, С.А. Калманович, И.Б. Красина, Н.А. Тарасенко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2 – С. 12-16.
10. Матвеева Т.В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография / Т.В. Матвеева, С.Я. Корячкина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК». – 2012. – 947 с.
11. Голунова Л.Е. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания / Л.Е. Голунова. – СПб: Профикс, 2003. – 408 с.
12. Базарнова Ю.Г. Методы исследования сырья и готовой продукции: Учеб.-метод. Пособие / Ю.Г. Базарнова. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 76 с.
13. Корячкина С.Я. Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Методы исследования свойств полуфабрикатов хлебопекарного производства: учебно-методическое пособие для высшего профессионального образования / С.Я. Корячкина, Н.А. Березина, Е.В. Хмельева. – Орел: ФГОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», 2011. – 49 с.
14. Гамидуллаев С. Товароведение и экспертиза продовольственных товаров: учеб. пособие / С. Гамидуллаев, Е. Иванова, С. Николаева, В. Симонова. – СПб.: Альфа, 2000. – 428 с.
15. Скурихина И.М. Химический состав пищевых продуктов / И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна – М: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
2. Salihifar M. Effects of oat flour on dough rheology, texture and organoleptic properties of taftoon bread / M.Salihifar, M.Shahedi //J. Agric. Sci. Technol. – 2007. - №3 – С. 227-234.
3. Azgamova L.I. Proizvodstvo muchnogo konditerskogo izdeliia povyshennoi pishchevoi tsennosti / L.I. Azgamova [i dr.] // Vestnik Ka-zan. tekhnol. un-ta. – 2010. – № 11. – S. 264-268.
4. Vasilenko I. I. Traditsiini ta netraditsiini vidi sirovini u virobnitstvi konditers'kikh boroshnianikh virobiv / I. I. Vasilenko // Formuvannia mekhanizmv upravlinnia iakistiu ta pidvishchennia konkurentospromozhnosti pidpriemstv: тези доповідей VI Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh (Dnipropetrovs'k, 26 bereznia 2015 r.). – Dnipropetrovs'k, 2015. – S. 39-41.
5. Rossell C.M. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. / C. M Rossell, J.A. Rojas, Beredicto de Barber C. // Food Hydrocolloids – 2007. - № 1- С. 75-81.
6. Gladka A.D. Razrabotka retseptury torta «Zdorov'e» s ispol'zovaniem nizkoeterifitsirovannogo pektina i β-karotina / A.D. Gladka // Zhurnal «Mir produktov». – 2009. – № 9 (58) – S 36-40.
7. <http://marinid.com/n16.htm> (data obrashcheniia 2.06.2017).
8. Bobreneva I.V. Podkhody k sozdaniuu funktsional'nykh produktov pitaniia: monografiia – SPb: ITs Intermediia, 2012. – 465 s.
9. Ezhova K.S., Semena tykvy – funktsional'nyi ingredient dlia sozdaniia novykh produktov pitaniia / K.S. Ezhova, M.V. Mikhailenko, Iu.N. Nikonovich, S.A. Kalmanovich, I.B. Krasina, N.A. Tarasenko // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. – 2015. – № 2 – S. 12-16.
10. Matveeva T.V. Fiziologicheskii funktsional'nye pishchevyie ingredienty dlia khlebobulochnykh i konditerskikh izdelii: monografiia / T.V. Matveeva, S.Ia. Koriachkina. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet - UNPK». – 2012. – 947 s.
11. Golunova L.E. Sbornik retseptur bliud i kulinarnykh izdelii dlia predpriatii obshchestvennogo pitaniia / L.E. Golunova. – SPb: Profiks, 2003. – 408 s.
12. Bazarnova U.G. Metody issledovaniia syr'ia i gotovoi produktsii: Ucheb.-metod. Posobie / Iu.G. Bazarnova. – SPb.: NIU ITMO; IKhiBT, 2013. – 76 s.
13. Koriachkina S.Ia. Metody issledovaniia svoistv syr'ia, polufabrikatov i gotovoi produktsii. Metody issledovaniia svoistv polufabrikatov khlebopekarnogo proizvodstva: uchebno-metodicheskoe posobie dlia vysshogo professional'nogo obrazovaniia / S.Ia. Koriachkina, N.A. Berezina, E.V. Khmeleva. – Orel: FGOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – 49 s.
14. Gamidullaev S. Tovarovedenie i ekspertiza proizvodstvennykh tovarov: ucheb. posobie / S. Gamidullaev, E. Ivanova, S. Nikolaeva, V. Simonova. – SPb.: Al'fa, 2000. – 428 s.
15. Skurikhina I.M. Khimicheskii sostav pishchevykh produktov / I.M. Skurikhina, V.A. Tu-tel'iana – M: DeLi print, 2002. – 236 s.

References

УДК 621.941

УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ПРИ ПОМОЩИ АДАПТИВНЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Ю.О. Стреляная¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Разработана система питания шпиндельного узла тяжелого токарного станка с регуляторами, имеющими обратные связи по результатам измерений действительного положения шпинделя или обрабатываемой детали. При изменении положения шпиндельного узла отклонение планшайбы фиксируется датчиками, сигналы от датчиков управляют регуляторами расхода смазочного материала в системе питания гидростатических опор, таким образом, чтобы перераспределять расходы и давления через соответствующие карманы опор и тем самым, изменив координаты опорных реакций, скомпенсировать изменение нагрузки и уменьшить деформацию шпиндельного узла. Для такой системы разработаны регуляторы расхода смазочного материала, управляемые по электрическому сигналу, позволяют использовать расход или давление смазочного материала в качестве физической величины для разработки систем адаптивного управления точностью станков.

Ключевые слова: адаптивное управление, точность, токарный станок, шпиндельный узел, гидростатические опоры, регуляторы.

CONTROL OF ACCURACY OF THE SPINDLE UNIT WITH ADAPTIVE HYDROSTATIC SUPPORTS WITH FEEDBACK

Yu.O. Strelyanaya¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

Developed supply system of spindle unit heavy turning lathe with regulators, having feedbacks by measurements actual position spindle or workpiece. When the position spindle unit is changes deviation of faceplate fixed by sensors, signals from sensors control regulators expenditure grease material in the supply system, hydrostatic supports, thus, So that redistribute expenses and pressures through appropriate pockets of supports and, change coordinates supports reaction, compensate the load change and minimize deformation of spindle unit. From this system developed regulators expenditure grease material, controlling by electrical signal, allow use expenses ore pressures grease material as like physical quantity for developed adaptive control system accuracy machine tool.

Keywords: adaptive control, accuracy, turning lathe, spindle unit, hydrostatic supports, regulators.

Введение

Сегодня в мировом станкостроении имеют место такие тенденции, как повышение производительности, точности, расширение функциональных возможностей станков.

Особенности обеспечения точностью тяжелых станков связаны с большими массами изделий и элементами несущей системы, и, соответственно, с большими прогибами от больших нагрузок, трудностей точного позиционирования, равномерностью медленных перемещений, неизбежными по-

грешностями изготовления и сборки, большими температурными деформациями, пропорциональными линейным размерам.

Точность – один из важнейших показателей предназначения станков, что значительно влияет на все критерии работоспособности узлов, а также на его входные параметры: продуктивность, экономическую эффективность[1].

Точность зависит от множества составляющих погрешностей различной природы, вызывающих отклонения конечных звеньев станка, несущих режущий инструмент и обрабатываемую заготовку. На ранних этапах

проектирования станка актуальным является моделирование процесса формирования точности станка, зависящей от конструктивно-компоновочных параметров станка. Задача оценки точности при проектировании состоит в том, чтобы предоставить конструктору информацию для принятия решения, показать «слабые» звенья, вносящие наибольшую погрешность в баланс точности по каждой оси координат. В качестве критерия точности станка может быть принята погрешность взаимного положения инструмента и заготовки, обусловленная только угловыми смещениями узлов станка под действием силы резания и веса подвижных узлов.

На основе анализа путей повышения трудоемкости и надежности станочного оборудования, определены наиболее эффективные средства увеличения геометрической и кинематической точности, жесткости, вибростойкости, теплостойкости, износоустойчивости [2, 3].

Самый действенный путь повышения точности обработки на действующем оборудовании – модернизация узлов станочного оборудования, обеспечивающих точность с применением последних достижений науки и техники в области ремонта, восстановления, упрочнения деталей; заменой приводов на более современные; оснащением дополнительными адаптивными системами, и что особенно важно, применением прогрессивных узлов трения [4-9].

В шпиндельных узлах особо точных тяжелых станков нашли применение гидростатические подшипники. Это вызвано отсутствием подшипников качения требуемой степени точности и большой грузоподъемности [11].

Повышение качества технологической системы позволяет повысить как точность, так и производительность обработки деталей, причем одним из наиболее эффективных и экономически оправданных путей есть повышение качества опорных узлов станка, в частности замена смешанного трения и трения качения жидкостным трением, т.е. применение гидравлических опор и передач в шпиндельных узлах.

Применение гидростатических опор позволяет:

- повысить надежность опор, за счет того, что дросселирующие элементы при работе находятся в движении, не наблюдается зарастание дросселирующей щели;
- снизить нагрев опоры вследствие увеличения потока смазочного материала через опору по мере нагрева;
- повысить жесткость и несущую способность слоя смазочного материала;
- исключить наладочные работы по установлению рабочего давления в карманах опоры.

Такая система [12] позволяет использовать расход или давление смазочного материала в качестве управляемой физической величины и за счет управления (применение адаптивных систем питания) повысить точность шпиндельного узла.

Для обеспечения двухстороннего регулирования целесообразно использование моноблочных регуляторов для оппозитных карманов. Такие регуляторы позволяют осуществлять управление более надежно.

Однако применение известных конструкций регуляторов с обратной связью по давлению и расходу смазочного материала в данном случае нецелесообразно в связи с запаздыванием времени отклика, связанным с невозможностью мгновенного повышения давления в карманах. В системах питания с такими регуляторами, регулирование положения шпинделя в опорах происходит на основе косвенных измерений.

Предлагается применить систему питания с регуляторами, имеющими обратные связи по результатам измерений действительного положения шпинделя или обрабатываемой детали [13]. Для адаптивного регулирования параметров гидростатических опор оптимальным вариантом является применение регуляторов, изменяющих расход или давление смазочного материала по электрическому сигналу.

При изменении положения шпиндельного узла отклонение планшайбы фиксируется датчиками, датчики могут быть индикаторного, емкостного типа или лазерные дальномеры. Сигналы от датчиков управляют регу-

ляторами расхода смазочного материала в системе питания гидростатических опор, таким образом, чтобы перераспределять расходы и давления через соответствующие карманы и тем самым, изменив координаты опорных реакций, скомпенсировать изменение нагрузки и уменьшить деформацию шпиндельного узла. Для такой системы необходимо разработать регуляторы расхода смазочного материала, управляемые по электрическому сигналу.

Мембранный односторонний регулятор (рис.1) [14] содержит корпус, входное и выходное сопла и мембрану, на которой выполнен якорь в виде утолщения, входное сопло является сердечником катушки индуктивности и соединено с корпусом резьбовым соединением и зафиксировано гайкой.

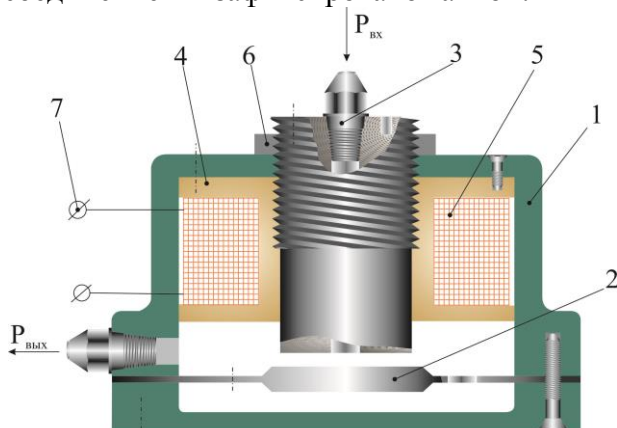


Рис.1. Схема одностороннего мембранного регулятора

Контакты катушки индуктивности связаны с контактами датчиков, установленных на планшайбе. В зависимости от изменения электрического тока на контактах катушки изменяется напряженность магнитного поля, и как следствие, толщина щели между мембраной и торцом входного сопла.

Мембранный односторонний регулятор состоит из корпуса 1, мембраны 2, входного сопла 3, катушки индуктивности 4, обмотки 5, гайки 6, контактов 7. Катушка закреплена в корпусе 1 с помощью болтов. Для грубой настройки давления в кармане гидростатического подшипника есть возможность изменения толщины дросселирующей щели за счет того, что сердечник (входное сопло 3) может завинчиваться в корпус 1. Для фиксации положения входного сопла в катушке

предусмотренная гайка 6. Входной канал регулятора связан с общей гидросистемой станка, исходный канал – с соответствующим карманом гидростатического подшипника.

Мембранный регулятор работает таким образом:

Перед включением подачи масла выполняется предварительная настройка регулятора на диапазон давления путем регулировки толщины дросселирующей щели между торцом входного сопла 3 и мембраной 2 с помощью гайки 6. При изменении нагрузки на планшайбу изменяется ток в цепи питания катушки индуктивности 4, мембрана 2 при этом прогибается, что влечет за собой изменения величины дросселирующей щели и сопротивления регулятора, а, следовательно, величины расхода смазочного материала через полость регулятора. Масло подается в корпус 1 по каналу в отверстии входного сопла 3, дросселируется через щель и уходит из регулятора через выходной канал. В мембране 2 выполнены отверстия, необходимые для создания слоя масла под мембраной. Расход жидкости, протекающей через регулятор, зависит от толщины дросселирующей щели. Прогиб мембраны 2 зависит только от напряженности магнитного поля, а не от скорости и давления потока жидкости, что позволяет регулировать малые затраты жидкости. Использование предлагаемого изобретения позволит упростить конструкцию регулятора расхода и повысить его надежность.

Применение мембранного одностороннего регулятора позволяет адаптивно изменять давление в соответствующем кармане гидростатического подшипника и благодаря этому регулировать положение оси шпинделя (рис. 2).

Золотниковый регулятор (рис.3) [15] состоит из корпуса 1, в котором перемещается золотник 2 с винтовой канавкой 3, имеются входное 4 и выходное сопло 5. Золотник связан с якорем 6 линейного электродвигателя 7, который имеет обмотку возбуждения на постоянных магнитах 8 в неподвижном статоре 9 и обмотку 10, в подвижном якоре.

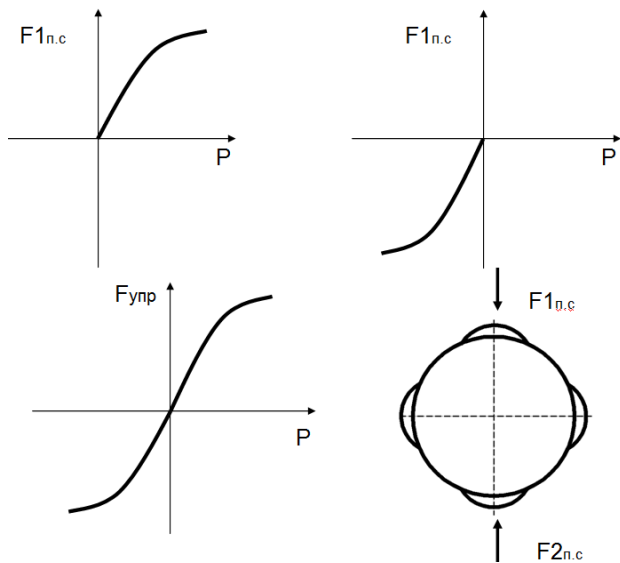


Рис.2. Управление восстанавливающей силой при заданном положении шпинделя

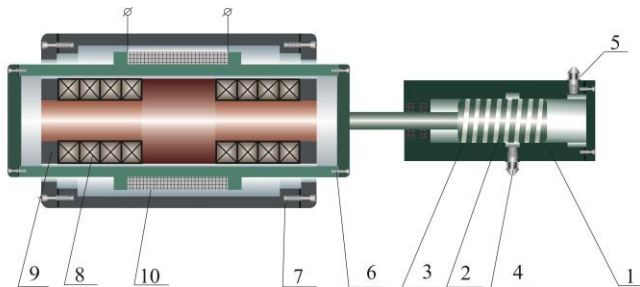


Рис.3. Схема регулятора с линейным двигателем

Регулятор с линейным двигателем работает следующим образом:

Смазочный материал от насоса подается через входное сопло 4, дросселируется в винтовой канавке золотника 2 и через сопло 5 поступает в гидростатическую опору. Расход смазки через регулятор зависит от расположения золотника относительно сопла 4.

Постоянные магниты 8 создают магнитное поле в полости статора, в которой перемещается обмотка якоря. Якорь с золотником перемещается в соответствующую сторону, уменьшая или увеличивая расход смазки через регулятор.

Такая система позволяет использовать расход или давление смазочного материала в качестве физической величины для разработки систем автоматического управления точностью станков. Структурная схема электрогидравлического следящего привода с обратной связью показана на (рис.4).

Статический расчет гидропривода с обратной связью проводится совместным решением уравнений неразрывности потоков жидкости через золотник, и уравнения статического равновесия исполнительного органа (шпинделя). Для упрощения пренебрегаем утечками по радиальному зазору в золотнике из-за их малости.

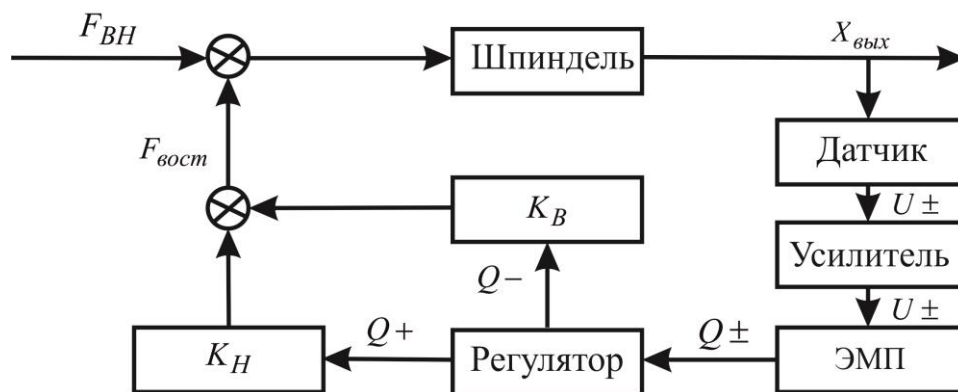


Рис.4. Структурная схема гидропривода с обратной связью

Уравнения неразрывности потоков жидкости:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q + Q_2; \\ Q_4 &= Q + Q_3, \end{aligned} \quad (1)$$

где Q – расход на перемещение шпинделя со скоростью V_c : $Q = V_c \cdot F$;

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – расходы через соответствующие дросселирующие винтовые канавки золотника:

$$\begin{cases} Q_1 = \mu \cdot s \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot \sqrt{(2/\rho) \cdot (p_n - p_1)}; \\ Q_2 = \mu \cdot s \cdot (\delta_0 - \delta) \cdot \sqrt{(2/\rho) \cdot p_1}; \\ Q_3 = \mu \cdot s \cdot (\delta_0 - \delta) \cdot \sqrt{(2/\rho) \cdot (p_n - p_2)}; \\ Q_4 = \mu \cdot s \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot \sqrt{(2/\rho) \cdot p_2}; \end{cases} \quad (2)$$

где s – длина дросселирующей канавки золотника: $b = \pi \cdot d$; p_n – давление питания: $p_n = \text{const}$; p_1, p_2 – давления в соответствующих полостях цилиндра; ρ – плотность жидкости; μ – коэффициент расхода через дросселирующие винтовые канавки золотника.

Ввиду полной симметрии привода из уравнений (1) получаем

$$Q_1 - Q_2 = Q_4 - Q_3, \quad (3)$$

или после подстановки значений расходов:

$$\begin{aligned} & (\delta_0 + \delta) \cdot \sqrt{(p_n - p_1)} - (\delta_0 - \delta) \cdot \sqrt{p_1} = \\ & = (\delta_0 + \delta) \cdot \sqrt{(2/\rho) \cdot p_2} - (\delta_0 - \delta) \times \\ & \times \sqrt{(2/\rho) \cdot (p_n - p_2)}. \end{aligned}$$

Решением этого уравнения во всем диапазоне изменения расходов будет

$$p_1 + p_2 = p_n.$$

Условием статического равновесия шпинделя является выражение

$$p_1 \cdot F - p_2 \cdot F = P,$$

или

$$p_1 - p_2 = p = (P/F), \quad (4)$$

где P – статическая нагрузка (суммарная сила сопротивления); p – перепад давления гидродвигателя нагрузки; F – эффективная площадь цилиндра.

Совместное решение уравнений (3) и (4) дает значения давлений:

$$\begin{cases} p_1 = 0,5 \cdot (p_n + p); \\ p_2 = 0,5 \cdot (p_n - p). \end{cases} \quad (5)$$

Из уравнения (1) получаем выражение расхода для перемещения гидродвигателя рабочего органа:

$$Q = Q_1 - Q_2,$$

или с учетом уравнений (1) и (5):

$$\begin{aligned} Q &= \mu \cdot s \cdot (\delta_0 + \delta) \cdot \sqrt{1/\rho \cdot (p_n - p)} - \\ &- \mu \cdot s \cdot (\delta_0 - \delta) \cdot \sqrt{1/\rho \cdot (p_n + p)} \end{aligned}$$

При отсутствии нагрузки ($p = 0$) привод с золотниковым усилителем характеризуется линейностью зависимости расхода от управляющего сигнала, т.е. последнее уравнение можно представить в виде

$$Q = k_Q^0 \cdot \delta,$$

где k_Q^0 – коэффициент усиления привода по расходу в отсутствии нагрузки:

$$k_Q^0 = (dQ/d\delta)|_{p=0} = 2 \cdot \mu \cdot s \cdot \sqrt{(1/\rho) \cdot p_n}. \quad (6)$$

С учетом значения $Q = V_c \cdot F$ окончательно получаем уравнение статической характеристики:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,5 \cdot k_v^0 \cdot \delta_0 \cdot [(1 + \delta/\delta_0) \cdot \sqrt{1 - (p/p_n)} - \\ &- (1 - \delta/\delta_0) \cdot \sqrt{1 + (p/p_n)}], \end{aligned} \quad (7)$$

где k_v^0 – коэффициент усиления привода по скорости в отсутствии нагрузки: $k_v^0 = k_Q^0 / F$.

Для дальнейших преобразований вводятся относительные величины:

$$\bar{V}_c = \frac{V_c}{k_v^0 \cdot \delta_0} \quad - \quad \text{относительная скорость};$$

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_0} \quad - \quad \text{относительное рассогласование};$$

$$\bar{p} = \frac{p}{p_n} = \frac{P}{p_n \cdot F} = \bar{P} \quad - \quad \text{относительная}$$

нагрузка.

Тогда

$$\bar{V}_c = 0,5 \cdot [(1 + \bar{\delta}) \cdot \sqrt{1 - \bar{p}} - (1 - \bar{\delta}) \cdot \sqrt{1 + \bar{p}}], \quad (8)$$

Решая уравнение (5.8) относительно $\bar{\delta}$, получаем выражение для определения рассогласования привода:

$$\bar{\delta} = \frac{2 \cdot \bar{V}_c}{\sqrt{1 + \bar{p}} + \sqrt{1 - \bar{p}}} + \frac{2 \cdot \bar{p}}{(\sqrt{1 + \bar{p}} + \sqrt{1 - \bar{p}})^2}.$$

Технический результат обеспечивается максимальная жесткость шпиндельного узла в осевом направлении, компенсируется биеение опор, упругие и температурные дефор-

мации шпинделя, повышается максимальная частота вращения шпиндельного узла.

Учитывая высокие нагрузочные свойства и линейность характеристик, рассмотренный привод отвечает всем требованиям по быстродействию реагирования на смещения шпинделя в цилиндрической системе координат.

Выводы

Применение адаптивных систем питания обеспечивает следующие преимущества:

1. Повышается надежность опор, так как дросселирующие элементы при работе находятся в движении, что препятствует зарастанию дросселирующей щели.

2. Снижается нагрев опоры вследствие увеличения потока смазочного материала через опору по мере нагрева.

3. Повышается жесткость и несущая способность слоя смазочного материала;

4. Исключаются наладочные работы по установлению рабочего давления в карманах опоры.

Список литературы

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 359с.
2. Братан С.М. Проблема выбора и соответствия критерия качества целям производства и эксплуатации деталей машин / С.М. Братан, Д.А. Каинов, Ю.О. Стреляная, П.А. Новиков // Математические методы в технике и технологиях–ММТТ–25: сб. трудов XXV международной конференции в 10 т. Т10. Секция 12 – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2012. – С. 25–29.
3. Strelyanaya Yu.O. Ensuring the stability parameters surface quality of parts in finish turning on heavy machine / Yu.O. Strelyanaya // Journal of Advanced Research in Technical Science. –North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. –2016. – Issue 3. – 24-27 p.
4. Соломенцев Ю.М. Теория автоматического управления / Ю.М. Соломенцев – М.: Высшая школа, 2000. – 268 с.
5. Автономов С.А. Адаптивное управление процессами токарной обработки на станке с ЧПУ / С.А. Автономов // Станки и инструмент, 1975.– №5. С.9–15.
6. Соломенцев Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов и др. М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.

7. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками / Б.С. Балакшин.– М.:Машиностроение, 1973. – 688 с.
8. Kalman R. E., Englar T. S., Bucy R. S. Fundamental Study of Adaptive Control Systems. Wright–Patterson Air Force Base Tech. Rept, ASD—TDR—61—27, April 1962.
9. Volk I.F. Adaptive control / I.F. Volk, R.P. Chase // Machinery and Production Engineering, 1973.– V.122, №3161. P.784–789.
10. Струтинский В.Б. Электрогидравлический следящий привод с обратной связью по давлению нагрузки / В.Б. Струтинский, В.Н. Тихенко // Тр. Одес.политехн. ун-та, 2008. – Вып. 1. – С. 16–22.
11. Новосёлов Ю.К. Разработка модели гидростатического подшипника для тяжелых токарных станков / Ю.К. Новосёлов, С.М. Братан, Ю.О. Стреляная, Д.А. Каинов // Ползуновский альманах. – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2012. – Вып 1. – С. 284–286.
12. Стреляная Ю.О. Анализ численных методов расчета шпиндельного узла на гидростатических опорах / Ю.О. Стреляная, Д.А. Каинов // Вісник СевНТУ: зб. наук. праць. – Севастополь: СевНТУ, 2010.– Вип. 111. – С. 166 – 171.
13. Стреляная Ю.О. Разработка адаптивной системы питания шпиндельного узла с гидростатическими опорами / Ю.О. Стреляная, Д.А. Каинов // Вісник СевНТУ: зб. наук. праць. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вип. 117. – С. 166–170.
14. Ковальов В.Д., Пономаренко О.В., Байракова Ю.О. Мембранный однобічний регулятор// Пат. 37624 Україна, МПК F16C 17/00. 10.12.2008, Бюл. №23/2008.
15. Ковальов В.Д., Пономаренко О.В., Байракова Ю.О. Золотниковий регулятор Пат. 37695 Україна, МПК F16C 17/00, G05B 11/00. 10.12.2008, Бюл. №23/2008.

References

1. Balakshin B.S. Osnovy tekhnologii mashinostroeniia. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 359с.
2. Bratan S.M. Problema vybora i sootvetstviia kriteriia kachestva tseliam proizvodstva i ekspluatatsii detalei mashin / S.M. Bratan, D.A. Kainov, Iu.O. Streliaiana, P.A. Novikov // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiakh – ММТТ – 25: sb. trudov XXV mezhdunarodnoi konfe-rentsii v 10 t. T10. Sektsiia 12 – Saratov: SGTU im. Gagarina Iu.A., 2012. – С. 25–29.
3. Strelyanaya Yu.O. Ensuring the stability parameters surface quality of parts in finish turning on heavy machine / Yu.O. Strelyanaya // Journal of Advanced Research in Technical Science. –North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. –2016. – Issue 3. – 24-27 p.
4. Solomentsev Iu.M. Teoriia avtomaticheskogo upravleniia / Iu.M. Solomentsev – М.: Vysshaia shkola, 2000. – 268 s.

5. Avtonomov S.A. Adaptivnoe upravlenie protsessami tokarnoi obrabotki na stanke s ChPU / S.A. Avtonomov // Stanki i instrument, 1975 – №5. S.9–15.
6. Solomentsev Iu.M. Adaptivnoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami / Iu.M. Solomentsev, V.G. Mitrofanov, S.P. Protopopov i dr. M.: Mashinostroenie, 1980. – 536 s.
7. Balakshin B.S. Adaptivnoe upravlenie stankami / B.S. Balakshin. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 688 s.
8. Kalman R. E., Englar T. S., Bucy R. S. Fundamental Study of Adaptive Control Systems. Wright–Patterson Air Force Base Tech. Rept, ASD—TDR—61—27, April 1962.
9. Volk I.F. Adaptive control / I.F. Volk, R.P. Chase // Machinery and Production Engineering, 1973. – V.122, №3161. P.784–789.
10. Strutinskii V.B. Elektrogidravlicheskie slediashchii privod s obratnoi svyaz'iu po davleniiu nagruzki / V.B. Strutinskii, V.N. Tikhenko // Tr. Odes. politekhn. un-ta, 2008. – Vyp. 1. – S. 16–22.
11. Novoselov Iu.K. Razrabotka modeli gidrostaticheskogo podshipnika dlia tiazhelykh tokarnykh stankov / Iu.K. Novoselov, S.M. Bratan, Iu.O. Streliaia, D.A. Kainov // Polzunovskii al'manakh. – Barnaul: AltGTU im. I.I. Polzunova, 2012. – Vyp 1. – S. 284–286.
12. Streliaia Iu.O. Analiz chislennykh metodov rascheta shpindel'nogo uzla na gidrostaticheskikh oporakh / Iu.O. Streliaia, D.A. Kainov // Visnik SevNTU: zb. nauk. prats'. – Sevastopol': SevNTU, 2010. – Vip. 111. – S. 166 – 171.
13. Streliaia Iu.O. Razrabotka adaptivnoi si-stemy pitaniia shpindel'nogo uzla s gidrostaticheskimi oporami / Iu.O. Streliaia, D.A. Kainov // Visnik SevNTU: zb. nauk. prats'. – Sevastopol': SevNTU, 2011. – Vip. 117. – S. 166–170.
14. Koval'ov V.D., Ponomarenko O.V., Bairakova Iu.O. Membrannii odnobichnii regulator // Pat. 37624 Ukraïna, MPK F16C 17/00. 10.12.2008, Biul. №23/2008.
15. Koval'ov V.D., Ponomarenko O.V., Bairakova Iu.O. Zolotnikovii regulator Pat. 37695 Ukraïna, MPK F16C 17/00, G05B 11/00. 10.12.2008, Biul. №23/2008.

УДК 681.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. Титков¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Основными направлениями инженерной деятельности являются проектирование, изготовление и эксплуатация приборов, машин. Широкое использование вычислительной техники во всех этих сферах деятельности современного инженера предъявляет к его профессиональной квалификации ряд дополнительных требований, заключающихся в овладении новыми информационными технологиями инженерного труда. В данной статье анализируются современные тенденции организации высшего образования в условиях рыночных быстроменяющихся условиях научно-производственной среды машиностроения. Обобщается и развивается структура гибкой, легко адаптируемой системы подготовки специалистов на основе идей искусственного интеллекта. Разработанная интеллектуальная обучающая система (методика) для подготовки конструкторов и технологов позволяет интегрировать знания по предметной области, методики решения инженерных задач, а также методами автоматизированной конструкторско-технологической подготовке производства. Применение этой методики ориентирует разработчиков методических и программно-информационных средств для поддержки учебного процесса на создание не отдельных фрагментов, а учебных комплексов, обеспечивающих полноценную проработку учебного материала от знакомства с теорией до решения нетиповых задач.

Ключевые слова: информационные технологии, база данных, современное образование, конструкторско-технологическая подготовка.

MODERN METHODS TRAINING OF ENGINEER MACHINE-BUILDING PRODUCTION

V.A. Titkov¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The main directions of engineering activity are designing, manufacturing and operation of devices, machines. The wide use of computer technology in all these spheres of activity of a modern engineer presents to his professional qualification a number of additional requirements, consisting in mastering new information technologies of engineering labor. This article analyzes modern trends in the organization of higher education in the conditions of market rapidly changing conditions of the scientific and industrial environment of machine building. The structure of a flexible, easily adapted system of training specialists on the basis of ideas of artificial intelligence is generalized and developed. The developed intellectual training system (technique) for the preparation of designers and technologists allows to integrate knowledge on the subject area, methods of solving engineering problems, and also by methods of automated design and technological preparation of production. The application of this methodology guides developers of methodical and program information tools to support the learning process to create not separate fragments, but educational complexes that provide a full study of the educational material from acquaintance with theory to solving non-typical tasks.

Keywords: information technology, database, modern education, konstruktorsko-technological preparation.

Информационные технологии интенсивно применяются на всех современных машино-, приборостроительных предприятиях (заводах, НИИ, КБ). На (рис. 1) приведен автоматизированный комплекс предприятия, интегрированный единым информационным пространством

для поддержания всех стадий жизненного цикла изделий.

Система PLM является центральным компонентом программного комплекса [1], который осуществляет управление информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и

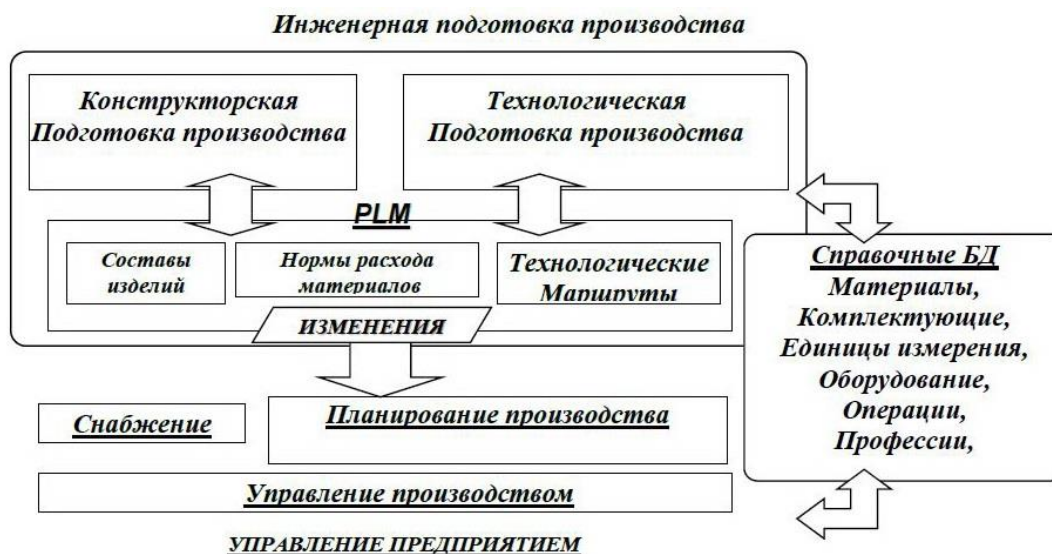


Рис.1. Комплексное информационное пространство предприятия

входимости компонентов в различные изделия; управление процессом разработки изделия, интеграцию систем автоматизированного проектирования (САПР):

- для конструкторской подготовки САПР К (CAD, CAE), АРМ WinMachine)
- для технологической подготовки САПР ТП (CAPP), САПР УП (CAM).

Применение комплексных автоматизированных систем в учебном процессе позволит готовить инженерные кадры, знания и умения которых отвечают современным требованиям применения компьютерных технологий в КБ, заводах и проектных организациях [2].

Однако сущность инженерной квалификации остается прежней и заключается не только и даже не столько во владении формализованными методами решения инженерных задач, сколько в развитой интуиции, так называемом инженерном чутье, опирающемся на знание фундаментальных физических свойств технических объектов и процессов и умение глубоко анализировать эти свойства [3]. Такие профессиональные качества всегда ценились в инженере, а к настоящему времени их роль, в связи с широким внедрением ВТ в промышленности, в строительстве, еще более возросла. Чтобы строить адекватные математические модели, необходимо глубоко понимать физическую природу

объектов моделирования. Чтобы принимать технически грамотные решения при работе с САПР или другими человеко-компьютерными комплексами, необходимо уметь правильно воспринимать и осмысливать результаты вычислений, учитывать трудно формализуемые факторы, всегда имеющиеся в инженерной деятельности.

Но при всей несомненной полезности автоматизация инженерного труда в учебных задачах не всегда приводит к повышению качества собственно инженерной подготовки. Студенты порой не получают в полном объеме даже тех знаний свойств технических объектов, которые им давало традиционное докомпьютерное обучение. К тому же относительная легкость получения результата с применением ЭВМ снижает интерес к самому результату. Так, целеустремленный поиск путем ряда проб оптимального или рационального решения в проектных задачах гораздо интересней и поучительней для будущего инженера, чем получение только одного оптимального проекта, который нельзя улучшить и не с чем сравнить [4].

Таким образом, в организации системы высшего образования имеется множество проблем, которые необходимо решать с применением современных средств компьютерных технологий. Комплексный подход на

основе системного анализа, компьютерных сетей, интеллектуальных обучающих систем обеспечит интеграцию и обмен новейшими знаниями, методами и методиками. Центром такой системы становится конкретный обучаемый, который интерактивно взаимодействуя с интегрированной средой.

С начала 80-х годов интенсивно развивается новое направление в компьютеризации обучения - интеллектуальные обучающие системы (ИОС), основанные на работах в области искусственного интеллекта [5]. Существенной частью ИОС являются модели обучаемого, процесса обучения, предметной области, на основе которых для каждого обучаемого может строиться рациональная стратегия обучения. Базы знаний ИОС могут содержать наряду с формализованными знаниями экспертные знания в предметных областях и в сфере обучения. Работы в области создания ИОС безусловно перспективны, но находятся пока на стадии лабораторных исследований и, несмотря на некоторые примеры успешного применения, на уровень массовой технологии еще не вышли [6].

При использовании технологии обработки знаний в обучении необходимо обеспечить высокую эффективность переноса разнородных знаний, что предполагает представление в базе знаний предметных знаний преподавателя, методических правил, педагогических суждений, а также способов управления знаниями. Компьютерные системы, работающие по принципу инженерии предметных, педагогических и методических знаний преподавателей, когда программно поддерживаются содержание, стратегии и методики обучения представляют класс интеллектуальных систем как интеллектуальные обучающие системы, экспертно-обучающие системы (ЭОС) [7]. На их основе необходимо создавать интеллектуальные учебные среды

В таких системах ведущее место отводится функциям коммуникации, передачи знаний преподавателей, представленных в компьютере, студентам. При этом взаимодействие «преподаватель–компьютерная система» связано с динамическим перераспределением обучающих функций между пре-

подавателем и компьютером, т.е. обеспечивается опосредованное воздействие преподавателей, через ЭОС на студентов.

Преподаватель формирует логические схемы учебного материала в базе знаний, а экспертная система управляет процессом обучения при взаимодействии с интеллектуальной системой.

Компьютерная система выполняет часть функций преподавателя по предъявлению учебного материала, контролю его усвоения, обнаружению ошибок у студентов, и пр.

ИОС используются для направленного формирования функциональной структуры деятельности у студентов, построения системы индивидуального опыта, адекватной требованиям профессии.

Анализ инженерных знаний в реальном мире показывает, что им присущ пассивный аспект: книги, таблицы, формулы, машиностроительные чертежи, графики и т.п. В автоматизированной интеллектуальной системе необходим активный аспект представления, поскольку необходимо не только запоминать, но и извлекать и производить рассуждения для поиска технологических решений. Численная формализация таких описаний малоэффективна. Напротив, использование символического языка, такого как язык математической логики, позволяет формулировать описания в форме, одновременно близкой и к естественному языку технолога и к языку программирования. Математическая логика позволяет рассуждать, базируясь на приобретенных знаниях: логические выводы действительно являются активными операциями получения новых знаний из усвоенных ранее [8, 9].

Предлагается новая концепция организации обучения на базе экспертных систем (рисунок 2), в которой на основе логических моделей производится не только освоение приемов работы с предметными автоматизированными системами САПР, но и развитие инженерного системного мышления, интуиции при проектировании объектов.

Центральным ядром системы является экспертная обучающая система, которая интерпретирует инженерные решения на осно-

1. Освоение приемов работы с предметными автоматизированными системами САПР (САПР К, САПР ТП, САПР УП);

В процессе обучения работы с конструкторской САПР (CAD) студент должен уметь создавать трехмерные ассоциативные геометрические модели деталей и сборочных единиц и целиком изделий, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы и оформлять чертежи и спецификации [11].

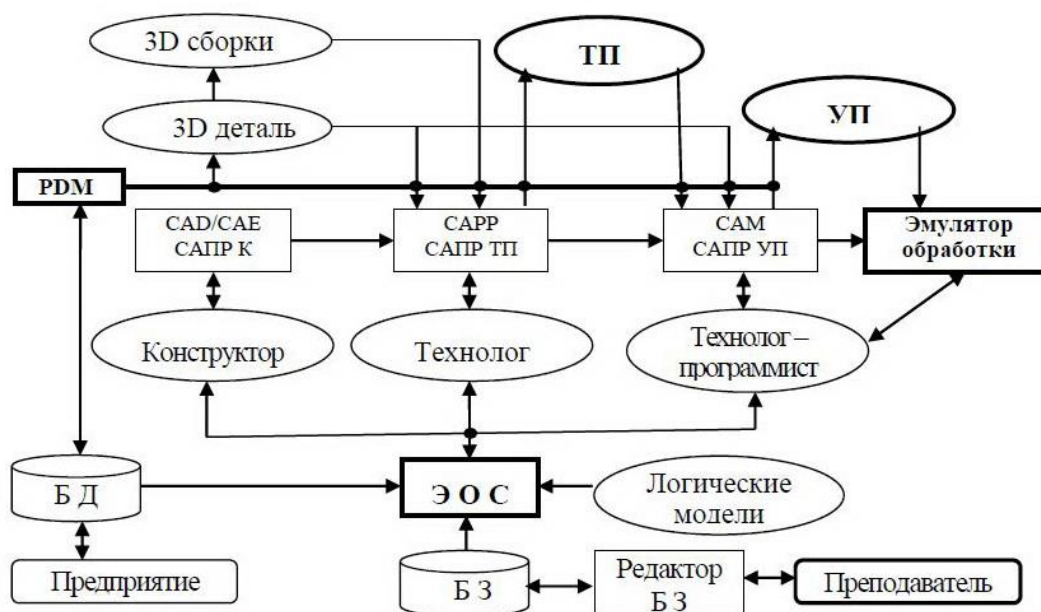


Рис. 2. Схема комплексной интеллектуальной системы обучения

- CAD «PowerSHAPE» – мощный гибридный моделировщик для проектирования изделий сложных форм, дополненный возможностями обратного инжиниринга;

- САМ «GEMMA-3D». В автоматизированном производстве обработка деталей осуществляется на станках с ЧПУ, уровень опера-

ционной технологии обработки по УП. Поэтому техпроцессы на уровне маршрутной технологии;

- САМ «PowerMILL» – система для подготовки высокоэффективных управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ;

- САМ «FeatureCAM» - система предназначена для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Отличительной особенностью FeatureCAM от других САМ-систем является высокая степень автоматизации подготовки управляющих программ. В основе системы FeatureCAM лежит возможность автоматического распознавания типовых элементов твердотельной 3D-модели и автоматическая обработка этих элементов с применением заложенной в систему технологической базы знаний.

Полученные управляющие программы для станков с ЧПУ отлаживаются на компьютерном эмуляторе Swansoft CNC. Он позволяет производить программирование обработки и имитацию работы токарных, фрезерных станков с ЧПУ и обрабатывающих центров для большинства СЧПУ. Разработка компании Nanjing Swansoft Technology Co (Япония). Вместо съема реальных данных с объектов и процессов производится их имитационное моделирование и дальнейшая обработка автоматизированными системами, которые производят анализ состояния оборудования или технологического процесса, их оценки и выдачи рекомендаций по их усовершенствованию или режимам эксплуатации. Таким образом, организуется виртуальное производство, в котором представлено большое многообразие станков с ЧПУ. Студенты обеспечены мощным обучающим комплексом для проведения экспериментов. Обучение организовано по следующей схеме: проектирование УП, виртуальная обработка, анализ результаты обработки, варьирования параметров проектирования УП без изменения модели детали, виртуальная обработка и т.д.

Все автоматизированные системы связаны между собой единым информационным пространством.

В результате конструирования созданные модели деталей и сборок передаются в подсистему технологической подготовки производства (САПР ТП, САПР УП). На выходе САПР

ТП получают информационные модели ТП изготовления деталей и сборки узлов, изделий. На основе входной информации модели ТП изготовления деталей (маршрутный уровень техпроцесса) и геометрической модели детали производится проектирование УП.

Интегрированная информационная структура обучающей системы абсолютно такая же, как на реальном предприятии. Таким образом, студент обучается в среде виртуального предприятия.

Выводы

Предлагаемая интеллектуальная обучающая система для подготовки конструкторов и технологов позволяет интегрировать знания по предметной области, методики решения инженерных задач, а также методами автоматизированной конструкторско-технологической подготовке производства. Применение этой методики ориентирует разработчиков методических и программно-информационных средств для поддержки учебного процесса на создание не отдельных фрагментов, а учебных комплексов, обеспечивающих полноценную проработку учебного материала от знакомства с теорией до решения нетиповых задач.

Список литературы

1. Петрушин В.А. Экспертно-обучающие системы. / В.А. Петрушин – Киев: Наукова думка, 1992.
2. Новоселов Ю.К. Логические модели распределенных технологических баз знаний при комплексной автоматизации технологических систем / Ю.К.Новоселов, В.И.Куля // Высокие технологии в машиностроении: Сб.науч. тр. НТУ «ХПУ» – Харьков, 2002. – Вып. 1(5) – С.282-287.
3. Дильман А. М. «Повышение эффективности функционирования промышленного оборудования за счет применения информационной системы для ЧПУ» // Автоматизация в промышленности. - Москва, 2006. -№11.-С. 9-10.
4. Мартинов Г. М., Трофимов Е. С. Модульная компоновка и построение прикладных приложений диагностики систем управления // Системы управления и информационные технологии. 2008. №7. С. 44-50.
5. Ю.Мартинов Г.М., Пушков Р.Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // При-

боры и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №11. С. 19-24.

6. Щербakov М. Е. Повышение производительности процесса точения за счёт использования аппарата искусственных нейронных сетей // Автоматизация и современные технологии. 2007 №9. С. 3 - 7.
7. Бьюзен Т. и Б. «Супермышление» /пер. с англ. Е.А. Самсонов; Худ. обл. М.В. Драко. - Мн.: 000 «Попурри», 2003. - 304 е.: ил. +16 с. вкл. - (Серия «Живите с умом»). ISBN 985-438-843-3.
8. Мартинов Г. М. Развитие систем управления технологическими объектами и процессами // Вестник МГТУ "Станкин". 2008. №1. С. 74-79.
9. Зубов С. iQ Platform: новый взгляд на функциональность модульного ПЛК // Рациональное Управление Предприятием. 2009. №2. С. 38-40.
10. http://www.cpsrt.ru/CAD_CAM_CAE_PDM_systems (дата обращения 12.07.2017).
11. <http://www.cad.dp.ua/obzors/cads.php> (дата обращения 12.07.2017).
12. http://stanki-katalog.ru/st_21.htm (дата обращения 12.07.2017).
13. <http://www.mashcon.ru/article/21> (дата обращения 12.07.2017).
14. <http://www.cadcamcae.lv/hot.html> (дата обращения 12.07.2017).
15. <http://www.чпу-станки.рф/post.html> (дата обращения 12.07.2017).

References

1. Petrushin V.A. Expert-training systems. / V.A. Petrushin - Kiev: Naukova Dumka, 1992.
2. Novoselov Yu.K. Logical models of distributed technological knowledge bases for complex automation of technological systems / Yu.K. Novoselov, VI Kula // High technologies in mechanical engineering: Sat. tr. NTU "KhPU" - Kharkov, 2002. - Issue. 1 (5) to C.282-287.

3. Dilman AM "Increasing the efficiency of the functioning of industrial equipment through the use of an information system for CNC" // Automation in industry. - Moscow, 2006.-№11.-With. 9-10.
4. Martinov GM, Trofimov ES Modular layout and construction of applied applications for diagnostics of control systems // Control systems and information technologies. 2008. № 7. Pp. 44-50.
5. Yu. Martinov, GM, Pushkov, R.L. Construction of toolkit for debugging control programs of CNC systems in high-level languages // Instruments and systems. Management, control, diagnostics. 2008. № 11. Pp. 19-24.
6. Shcherbakov M. Ye. Increase in the productivity of the turning process due to the use of the apparatus of artificial neural networks. // Automation and modern technologies. 2007 №9. Pp. 3-7.
7. Byusen T. and B. "Supermyshlenie / per. With the English. E.A. Samsonov; Hood. reg. M.V. Draco. - Mн.: 000 "Potpourri", 2003. - 304 e.: ill. 16 seconds. incl. - (Series "Live with the mind"). ISBN 985-438-843-3.
8. Martinov, GM, "Development of control systems for technological objects and processes," Vestnik, MGTU "Stankin". 2008. № 1. Pp. 74-79.
9. Zubov S. iQ Platform: a new look at the functionality of the modular PLC // Rational Enterprise Management. 2009. № 2. Pp. 38-40.
10. http://www.cpsrt.ru/CAD_CAM_CAE_PDM_systems (circulation date on July 12, 2017)
11. <http://www.cad.dp.ua/obzors/cads.php> (the date of circulation on July 12, 2017).
12. http://stanki-katalog.ru/st_21.htm (reference date is July 12, 2017).
13. <http://www.mashcon.ru/article/21> (reference date is July 12, 2017).
14. <http://www.cadcamcae.lv/hot.html> (date of circulation on July 12, 2017).
15. <http://www.chpu-stanki.rf/post.html> (drawn-tion date 12/07/2017).

УДК 624.9.026

Триботехнологическая эффективность масляной СОТС с присадкой монтмориллонита при сверлении титанового сплава

Э.Д. Умеров¹¹ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Российская федерация

Аннотация

В подтверждение гипотезы о приемлемости в качестве триботехнологической присадки к масляным СОТС наноглинистого минерала – монтмориллонита, в статье показаны основные результаты экспериментальных исследований. Оценка эффективности проводилась на труднообрабатываемом титановом сплаве ВТ 22, на операции сверления, на фрезерном станке с ЧПУ, оснащенный системой подачи СОТС в зону обработки техникой минимальной смазки. Силовые параметры процесса сверления – сила резания и крутящий момент измерялись двухкомпонентным ротационным динамометром. Представленные результаты измерения осевой силы и крутящего момента в процессе сверления с подачей СОТС разного состава. Приведены результаты стойкости сверла при тех же условиях, величины шероховатости поверхностей полученных отверстий. Полученные результаты свидетельствуют о приемлемости предлагаемой присадки к масляной субстанции СОТС при сверлении титанового сплава ВТ 22.

Ключевые слова: масляные СОТС, модификаторы трения, наноглинистые минеральные присадки, сверление, титановые сплавы, осевая сила, крутящий момент.

TRIBOTECHNOLOGIES EFFICIENCY OF OIL COOLANTS WITH ADDITIVE MONTMORILLONITE WHEN DRILLING TITANIUM ALLOY

E.D. Umerov¹¹Crimean engineer-pedagogical University, Simferopol, Russian Federation

Abstract

In support of the hypothesis of admissibility as tribotechnologies additives to the oil coolants nanoclay mineral montmorillonite, the article shows the main results of experimental studies. Evaluation of effectiveness was conducted on the difficult-to-cut titanium alloy VT 22, drilling operations, milling machine with numerical control, equipped with a system supplying coolants to the treatment area equipment is minimal lubrication. Power parameters of the process of drilling cutting force and torque were measured with a rotating two-component dynamometer. The measurement of the axial force and torque during drilling with the flow of coolants of different composition. The results of the durability of the drill bits under the same conditions, the degree of roughness of the surfaces of the resulting holes. The results indicate the acceptability of the proposed additives to the oil substance coolants when drilling titanium alloy VT 22.

Keywords: oil coolants, friction modifiers, nanoclay mineral additives, drilling, titanium alloys, axial force, torque.

1. Постановка проблемы

Важной составляющей машиностроительного производства является режущий инструмент, который обеспечивает требуемое качество изготовления изделий. Повышение стойкости режущего инструмента из быстрорежущих сталей достигается в основном двумя путями:

– занижением режимов резания, веду-

щих одновременно к снижению производительности;

– снижением температуры и улучшением триботехнологической обстановки в зоне резания под действием смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Несмотря на ряд технологических решений по составу [1-3] и применению СОТС, ресурс режущего инструмента, особенно

сверл, продолжает оставаться малоудовлетворительным.

Современные СОТС представляют собой [4-7] в основном многокомпонентные среды преимущественно на основе минерального масла. Они обладают удовлетворительными смазочными свойствами, имеют относительно низкую охлаждающую способность, высокую стоимость и испаряемость.

В настоящее время, ввиду ощутимо негативного влияния традиционных СОТС на экологию, производители начали склоняться к использованию СОТС в виде растительных масел. Такие СОТС имеют большую стоимость и их используют с применением техники минимальной смазки (ТМС). Как правило, они подаются в зону резания, в основном в чистом виде, без каких-либо присадок, что снижает их эффективность.

2. Анализ литературы

В работах [8, 9] была выдвинута гипотеза о приемлемости в качестве триботехнологической присадки к масляным СОТС наноглинистого минерала – монтмориллонита. Изучение свойств известных модификаторов трения – графита, дисульфида молибдена, искусственного серпентина [10,11] показало значимое преимущество монтмориллонита. Трение между кристаллическими решетками графита, серпентина, дисульфида молибдена осуществляется в «сухую».

Предложение по использованию наноглинистых минеральных присадок (НГМП) к СОТС с масляной субстанцией открывает перспективу существенного улучшения триботехнологической обстановки в зоне резания [12], повышения ресурсных показателей быстрорежущего инструмента и требует качественно новые экспериментальные исследования по условиям ее применения.

Минерал монтмориллонит состоит из пакетов наноминералов, способных при предварительном гидрировании межпакетно гидрорасклиниваться [13, 14]. Следует особо подчеркнуть, что создаваемый межпакетный гидравлический клин имеет несравненно большую несущую нагрузочную способ-

ность нежели свободная вода. Предварительное гидрирование НГМП позволяет, за счет появления возможности межпакетного скольжения наноминералов, формировать в зоне резания условия, способствующие улучшению триботехнологических свойств масляной СОТС, ликвидирующие возможность проявления сухого трения и особенно схватывания.

Более подробно характеристика монтмориллонита приведена в работах [15, 16].

Цель статьи – экспериментально показать возможность триботехнологической эффективности масляных СОТС, подаваемых в зону резания при обработке титановых сплавов, применением присадок в виде наноглинистого минерала – монтмориллонита.

3. Изложение основного материала

Оценка эффективности СОТС с НГМП проводилась на труднообрабатываемом конструкционном материале – титановом сплаве ВТ 22, на операции сверления, на фрезерном станке с ЧПУ марки «МАНО МН 600Е» (Германия). Станок был оснащен системой подачи СОТС в зону обработки ТМС MiniCool фирмы «NOGA» (Израиль).

Силовые параметры процесса сверления – сила резания P_o и крутящий момент $M_{кр}$ – измерялись двухкомпонентным ротационным динамометром KISTLER 9123 В (Швейцария). Полученные данные передавались на аналого-цифровой преобразователь, после чего результаты усреднялись и обрабатывались на ПК. На (рис. 1) приведен общий вид экспериментальной установки.

Выбор титанового сплава ВТ22 (рис. 2) был обусловлен его способностью выдерживать высокие нагрузки при существенной тепловой нагрузке, высокой коррозионной стойкостью, а, следовательно, и большим сроком службы в различных сложных механизмах.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки на базе станка с ЧПУ «МАНО МН 600Е»

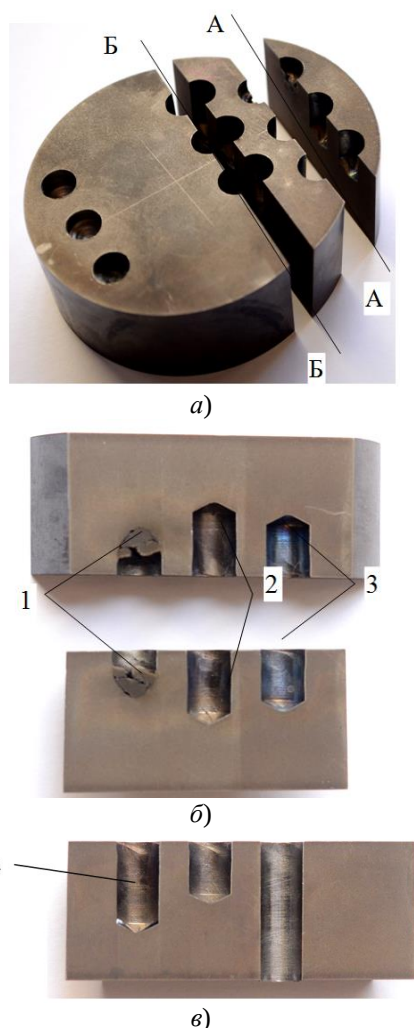


Рис. 2. Одна из заготовок сплава BT22 после экспериментального сверления:
а) – общий вид разрезанной заготовки; б) – разрез заготовки по А-А; в) – разрез заготовки по Б-Б

В позиции 1 показано просверленное отверстие на «сухую», где отчетливо наблюдается обломок режущего инструмента (сверла).

В качестве режущего инструмента использовалось спиральное сверло диаметром 8,3 мм h8 HSS, углом заточки $2\phi = 118^\circ$, фирмы HARTNER DIN 18678 (Германия), при частоте вращения $n = 219 \text{ мин}^{-1}$ и подаче $s = 0,08 \text{ мм/об}$. Эксперимент производился по принципу сверления глубоких отверстий – циклическими заглублениями на 5 мм, с пятикратной повторяемостью процесса. При достижении износа сверла предельного состояния, определяемого по характерному признаку – свисту инструмента, станок останавливали с фиксацией времени наработки. На (рис. 3) представлены результаты измерения осевой силы P_o и крутящего момента $M_{кр}$ во время сверления заготовки из титанового сплава BT22 в «сухую» и при подаче различных СОТС.

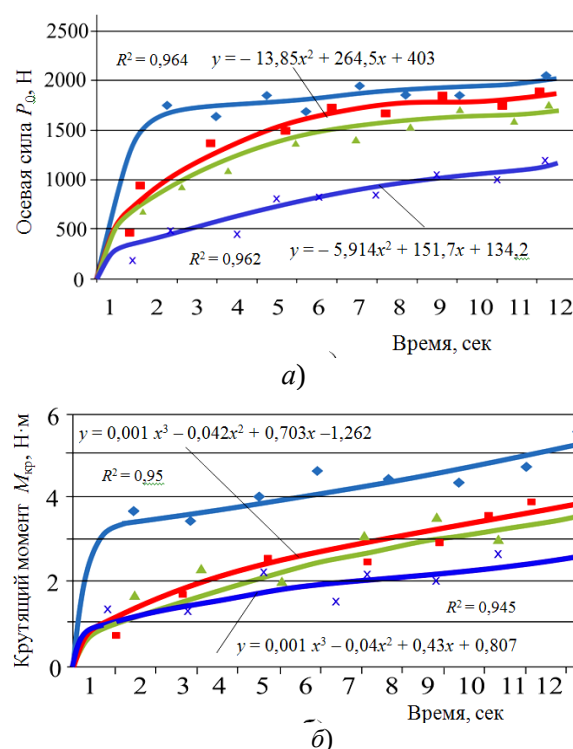


Рис. 3. Зависимости осевой силы P_o (а) и крутящего момента $M_{кр}$ (б) при сверлении сплава BT22 от состава подаваемой СОТС (сверло $\varnothing 8,3 \text{ мм}$, h8 HSS, DIN 18678, $n = 219 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,08 \text{ мм/об}$):
 — «сухое» резание;
 — при подаче подсолнечного масла;
 — при подаче масла Hebro 100 A (Германия);

✖ при подаче подсолнечного масла + НГМП

Применение в качестве СОТС подсолнечного масла, в сравнении с «сухим» резанием, снизило значение крутящего момента $M_{кр}$ в 1,6 раза. Подача экспериментальной СОТС (подсолнечное масло + НГМП) значение $M_{кр}$ снизила в сравнении с «сухим» резанием в 2,8 раза (табл. 1).

Таблица 1. Влияние состава СОТС на силовые показатели процесса сверления заготовки из титанового сплава BT22

Силовые показатели процесса резания	Среднее значение осевой силы, Н	Снижение осевой силы относительно показателя «сухого» резания, кратность	Среднее значение крутящего момента, Н·м	Снижение крутящего момента относительно показателя: «сухого» резания / относительно чистого подсолнечного масла, кратность
Состав СОТС				
«сухое» резание	1644,4	–	4,6	–
Подсолнечное масло	1485,1	1,1	2,8	1,6
Hebro 100 A	1298,8	1,3	2,4	1,9
Подсолнечное масло + НГМП	800,8	2,1	1,6	2,8/1,5

Одновременно с замерах осевых сил и крутящих моментов, прикладываемых к сверлу, велись наблюдения за его стойкостью.

Поскольку эксперименты проводились при сверлении глухих отверстий, стойкость сверла оценивалась по глубине обработки (см. рис. 2).

Момент достижения предельного износа инструмента определялся по характерному свисту сверла.

При сверлении на «сухую» стойкость инструмента составила 6 мм, при подаче в качестве СОТС подсолнечного масла – 12 мм.

При сверлении отверстия с подачей специальной СОТС Hebro 100 A (Германия) стойкость составляла 10 мм.

При подаче СОТС по ТМС, стойкость сверла возросла до 16 мм (рис. 4).

Экспериментально было подобрано массовое соотношение НГМП к масляной субстанции СОТС.

Лучший показатель стойкости сверла был получен при использовании в качестве СОТС подсолнечного масла с 9% присадки обводненного наноглинистого минерала – монтмориллонита.

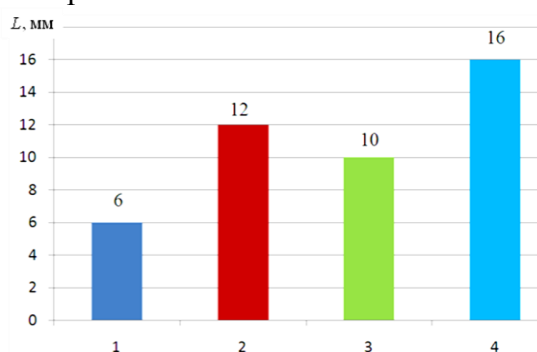


Рис. 4. Влияние состава СОТС на стойкость сверла: 1 – «сухое» резание; 2 – подача подсолнечного масла; 3 – специальное СОТС Hebro 100 A (Германия); 4 – подача подсолнечного масла + НГМП

Оценка влияния экспериментальной композиции (подсолнечное масло + НГМП) на качество обработанной поверхности осуществлялась контактным методом с помощью профилометра Handysurf E-35A (Германия) (рис. 5).



Рис. 5. Измерение шероховатости поверхностей отверстий

Параметром шероховатости было принято среднеарифметическое отклонение профиля R_a в мкм. Базовая длина для замера составила 5 мм. Первые 2 мм в начале отверстия исключали из обмера.

Усредненные результаты значений шероховатости поверхностей просверленных отверстий при «сухом» резании составило 7,11 мкм. При подаче подсолнечного масла 2,01 мкм, специального масла Hebro 100 A – 4,83 мкм. Экспериментальная композиция СОТС показала результат 1,77 мкм. Гистограмма результатов представлена на (рис 6).

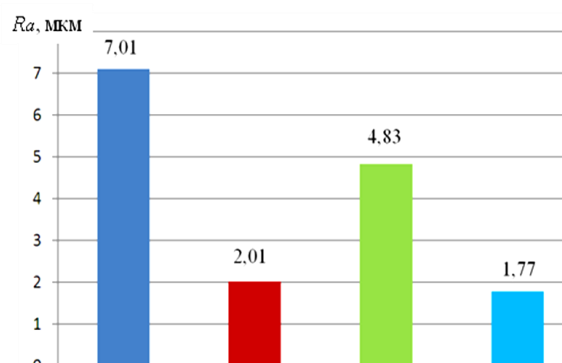


Рис. 6. Гистограммы полученных значений шероховатости поверхности:

1 – «сухое» резание; 2 – при подаче подсолнечного масла; 3 – при подаче специального СОТС Hebro 100 A (Германия); 4 – при подаче подсолнечного масла + НГМП

Выводы

Экспериментальная оценка эффективности гидрированной присадки монтмориллонита к масляной субстанции СОТС в виде подсолнечного масла показала, что в процессе сверления титанового сплава ВТ 22 повышается стойкость быстрорежущего инструмента и качество поверхностей полученных отверстий. Улучшение значений шероховатости обработанных поверхностей заготовки свидетельствует об улучшенных смазывающих свойствах экспериментальной СОТС.

Список литературы

1. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / под ред. М.И. Клушина. – М.: Машиностроение, 1979. – 192 с.
2. Тимофеев С.М. Исследование влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на энергетические соотношения процесса резания материалов: дисс...канд. техн. наук: – Ташкент; К., 1982. –

- 183 с.
3. Якубов Ф.Я. Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента / Ф.Я. Якубов, В.А. Ким – Симферополь: Крымучпедгиз, 2005. – 300 с.
4. Якубов Ч.Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч.Ф. Якубов. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.]
5. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелеса, Э.М. Берлинера, 2-е изд. перераб. и доб. – М.: Машиностроение, 1998. – 496 с.
6. Ошер Р.Н. Производство и применение смазочно-охлаждающих жидкостей (для обработки металлов резанием) / Р.Н. Ошер – М.: 1963. – 226 с.
7. Смазочно-охлаждающие жидкости и их применение при производстве режущего инструмента. Методические рекомендации – М.: ВКИИ инструмент, 1986. – 73 с.
8. Абдулгасис Д.У. Экспериментальные исследования эффективности масляной СОТС с присадкой наноглинистых минералов листовой структуры / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – 313 с. С.3-9.
9. Умеров Э.Д. Экспериментальная оценка результативности присадки наноглинистых минералов слоистой структуры к масляным СОТС / Э.Д. Умеров, Д.У. Абдулгасис, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 46. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2014. – С. 68-73.
10. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. Физика химической связи. – Т.1 (первод с английского) – М.: Мир, 1983. – 463 с.
11. Зарубин В.П. Разработка и исследование триботехнических свойств смазочных материалов наполненных порошками геомодификаторов трения: автореф. дис. канд. техн. наук. – Иваново, 2007. –16 с.
12. Абдулгасис Д.У. Повышение эффективности масляных СОТС при сверлении титановых сплавов применением наноглинистых минеральных присадок / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 40, Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2013. – С. 49–54.
13. Абдулгасис Д.У. Триботехнологические особенности применения наноглинистых минеральных присадок к масляным СОТС при лезвийной обработке конструкционных материалов / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инже-

нерно-педагогического университета, РИО КИПУ № 1(49), 2015. – С.85-90.

14. На–монтмориллонит. – Технический словарь. Том 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: 2291-na-montmorillonit.xhtml (дата обращения 01.08.2017).
15. Структурные формы и подвижность молекулярной воды в монмориллоните [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/rus/home.htm/ (дата обращения 01.08.2017).
16. Бентонит как природный наноматериал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mirznani.com/a/24329/bentonit-kak-prirodnyy-nanomaterial> (дата обращения 01.08.2017).

References

1. Tekhnologicheskie svoistva novykh SOZh dlia obrabotki rezaniem / pod red. M.I. Klushina. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 192 s.
2. Timofeev S.M. Issledovanie vliianiia sma-zochno-okhlazhdaiushchikh zhidkosti na energeticheskie sootnosheniia protsessa rezaniia materialov: diss...kand. tekhn. nauk: – Tashkent; K., 1982. – 183 s.
3. Iakubov F.Ia. Strukturno-energeticheskie as-pekty uprochneniia i povysheniia stoikosti rezhushchego instrumenta / F.Ia. Iakubov, V.A. Kim – Simferopol': Krymuchpedgiz, 2005. – 300 s.
4. Iakubov Ch.F. Uprochniaiushchee deistvie SOTS pri obrabotke metallov rezaniem / Ch.F. Iakubov. – Simferopol: OAO «Simferopol'skaia gorodskaiia tipografiia», 2008. – 156 s.]
5. Smazочно-okhlazhdaiushchie tekhnologicheskie sredstva dlia obrabotki metallov rezaniem: Spravochnik / Pod red. S.G. Entelisa, E.M. Berlinera, 2-e izd. pererab. i dob. – M.: Mashinostroenie, 1998. – 496 s.
6. Osher R.N. Proizvodstvo i primeneniie sma-zochno-okhlazhdaiushchikh zhidkosti (dlia obrabotki metallov rezaniem) / R.N. Osher – M.: 1963. – 226 s.
7. Smazочно-okhlazhdaiushchie zhidkosti i ikh primeneniie pri proizvodstve rezhushchego instrumenta. Metodicheskie rekomendatsii – M.: VKII instrument, 1986. – 73 s.
8. Abdulgazis D.U. Eksperimental'nye issledovaniia effektivnosti maslianoi SOTS s prisadkoi nanoglinistykh mineralov listovoi struktury / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, E.E. Iag'iaev, S.R. Memetov, U.A. Abdulgazis // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. – Khar'kov: NTU «KhPI», 2013. – Vyp. 83. – 313 s. S.3-9.
9. Umerov E.D. Eksperimental'naia otsenka rezul'tativnosti prisadki nanoglinistykh mineralov sloistoi struktury k maslianykh SOTS / E.D. Umerov, D.U. Abdulgazis, U.A. Abdulgazis // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Vyp. 46. Tekhnicheskie nauki. – Simferopol': NITs KIPU, 2014. – S. 68-73.
10. Kharrison U. Elektronnaia struktura i svoistva tverdykh tel. Fizika khimicheskoi svyazi. – T.1 (pervod s angliiskogo) – M.: Mir, 1983. – 463 s.
11. Zarubin V.P. Razrabotka i issledovanie tribotekhnicheskikh svoistv smazochnykh materialov napolnennykh poroshkami geomodifikatorov treniia: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Ivanovo, 2007. –16 s.
12. Abdulgazis D.U. Povysheniie effektivnosti maslianykh SOTS pri sverlenii titanovykh splavov primeneniem nanoglinistykh mineral'nykh prisadok / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, E.E. Iag'iaev, S.R. Memetov, U.A. Abdulgazis // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Vyp. 40, Tekhnicheskie nauki. – Simferopol': NITs KIPU, 2013. – S. 49–54.
13. Abdulgazis D.U. Tribotekhnologicheskie osobennosti primeneniia nanoglinistykh mineral'nykh prisadok k maslianykh SOTS pri lezviinoi obrabotke konstruktsionnykh materialov / D.U. Abdulgazis, E.D. Umerov, G.P. Podznoev, U.A. Abdulgazis // Uche-nye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta, RIO KIPU № 1(49), 2015. – S.85-90.
14. На–монтмориллонит. – Tekhnicheskii slovar'. Tom 1. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.ai08.org/index.2291-na-montmorillonit.xhtml> (data obrashcheniia 01.08.2017).
15. Strukturnye formy i podvizhnost' molekuliarnoi vody v monmorillonite [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/rus/home.htm/ (data obrashcheniia 01.08.2017).
16. Bentonit kak prirodnyi nanomaterial [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://mirznani.com/a/24329/bentonit-kak-prirodnyy-nanomaterial> (data obrashcheniia 01.08.2017).

УДК 621.778

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛИНИИ ПО ЗАДАННОМУ ТЕНЗОРУ ДЕФОРМАЦИИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

В.Г. Хромов¹, И.В. Хромов¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Описывается вывод уравнений для определения параметров деформации продольной оси тонкого стержня по заданному тензору деформаций сплошной среды. Приведен пример применения общих уравнений для анализа синусоиды, лежащей на деформируемой плоскости. Разработанный метод устраняет необходимость использования визуальной картины перемещений пространственного тонкого стержня и позволяет создать единый алгоритм аналитических преобразований при решении прикладных задач.

Ключевые слова: тензор деформации, сплошное деформируемое тело, пространственная линия, тонкий стержень.

MODELLING OF FORMING A SPATIAL THIN ROD USING STRAIN TENSOR OF A CONTINUOUS DEFORMABLE SOLID

V.G. Khromov¹, I.V. Khromov¹¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

Authors describe the derivation of equations to determine the deformation parameters of the longitudinal axis of a thin rod for a given strain tensor continuum. Examples have been given to apply general equations for analyzing the sinusoid forming on a deformable plane, as well as for calculating the deformations of thin helical elements while stretching and twisting helical wire rope. The method developed eliminates the need of applying visual picture of displacement for spatially curved axis of a wire, and allows to create a uniform algorithm of analytical transformations to solve applied problems.

Keywords: strain tensor, continuous deformable solid, spatial line, thin rod, helical wire rope.

Введение

Задачи математического анализа формоизменения пространственной линии часто встречаются в механике тонкого стержня и стержневых систем [1 – 4]. При этом традиционно используются векторные уравнения Клебша связывающие приращения относительного удлинения ε и вектора кривизны $\delta\vec{\Omega}$ с векторами перемещения $\vec{u}$ и угла поворота $\vec{\varphi}$ произвольной точки продольной оси стержня (уравнения Клебша):

$$\frac{d\vec{u}}{ds} = \vec{\varphi} \times \vec{\tau} + \varepsilon \cdot \vec{\tau}$$

$$\delta\vec{\Omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{ds},$$

где $\vec{\tau}$ – единичный касательный вектор;
 s – длина дуги пространственной линии.

Эти уравнения отражают наиболее общие закономерности изменения формы тонкого стержня. Однако их применение требует сложных аналитических преобразований и привлечения визуальной картины пространственных перемещений отдельных точек стержня, что затрудняет вывод расчетных формул.

Целью статьи является обзор известных и вывод дополнительных формул для математического моделирования изменения размеров и формы пространственной кривой линии, находящейся в сплошной деформируемой среде. Задача решается в рамках ги-

потезы малых перемещений и деформаций с использованием тензорного анализа.

Обсуждение и результаты

Рассмотрим сплошное деформируемое твердое тело (среда), с которым жестко связана система координат $X'_1X'_2X'_3$ (рис. 1). Пусть внутри тела задана пространственная кривая линия, описываемая параметрическими уравнениями $X'_i(s)$, где i принимает целые значения от 1 до 3; s - скалярный параметр (длина дуги). Далее используем тензорные обозначения вектора, а также тензорные правила суммирования по повторяющемуся в произведении индексу [5 – 11].

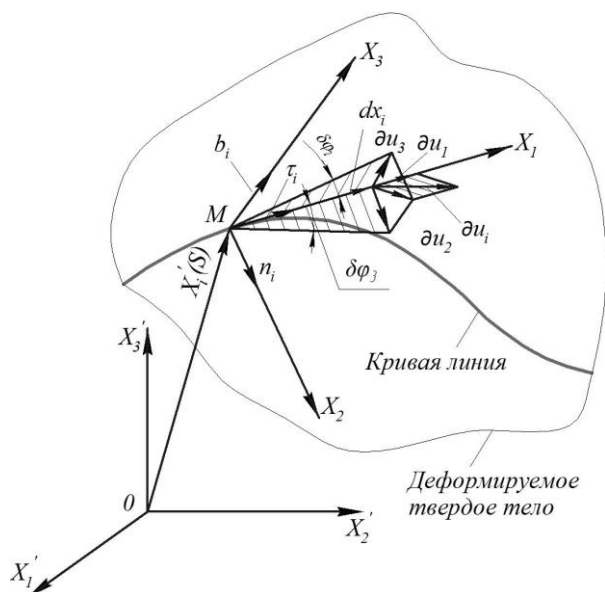


Рис. 1. Схема деформации бесконечно малого отрезка пространственной линии в окрестности заданной точки сплошной среды

Предположим, что в неподвижной системе $X'_1X'_2X'_3$ задан тензор малой деформации среды

$$\xi'_{ij} = \frac{\partial u'_i}{\partial x'_j} = e'_{ij} + \omega'_{ij}, \quad (1)$$

где u'_i – вектор перемещения произвольной точки среды; e'_{ij} – симметричный тензор чи-

стой деформации; ω'_{ij} – антисимметричный тензор поворота среды в окрестности заданной точки [12 – 15].

Необходимо получить формулы для расчета параметров деформации пространственной линии: относительного удлинения ε и приращения вектора кривизны $\delta\Omega_i$ в произвольной точке М.

Введем естественную систему координат $X_1X_2X_3$ (рис. 1) с единичными векторами τ_i , n_i , b_i (касательная, нормаль и би-нормаль к заданной кривой). Единичные векторы естественного трехгранника определяются известными формулами [4, 5]:

$$\begin{aligned} \tau'_i &= \frac{dx'_i}{ds}, \\ n'_i &= \frac{1}{\Omega_3} \cdot \frac{d\tau'_i}{ds}, \\ b'_i &= \frac{1}{\Omega_1} \cdot \left(\frac{dn'_i}{ds} + \Omega_3 \tau'_i \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где Ω_3 , Ω_1 – кривизна и кручение пространственной линии.

По найденным компонентам векторов τ'_i , n'_i , b'_i в проекциях на неподвижную систему координат можно записать матрицу линейного преобразования A_{ij} для перехода от неподвижной системы координат $X'_1X'_2X'_3$ к естественной системе $X_1X_2X_3$:

$$(A_{ij}) = \begin{pmatrix} \tau'_1 & \tau'_2 & \tau'_3 \\ n'_1 & n'_2 & n'_3 \\ b'_1 & b'_2 & b'_3 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Используя матрицу (3), определяем компоненты тензоров деформации в естественной системе координат:

$$\begin{aligned} \xi_{ij} &= A_{ik} A_{jl} \xi'_{kl}, \\ e_{ij} &= A_{ik} A_{jl} e'_{kl}, \\ \omega_{ij} &= A_{ik} A_{jl} \omega'_{kl}. \end{aligned} \quad (4)$$

Относительное удлинение заданной линии в окрестности произвольной точки М, очевидно, равно относительному удлинению среды в направлении оси X_1 , т.е. $\varepsilon = e_{11}$. Тогда с учетом (4) и (3), получим известную формулу [5]:

$$\varepsilon = A_{1k} A_{1l} e'_{kl} = \tau'_k \tau'_l e'_{kl} = \tau'_k \tau'_l \xi'_{kl}. \quad (5)$$

Для анализа изменения вектора кривизны $\delta\Omega_i$ заданной линии рассмотрим схему поворота бесконечно малого касательного вектора dx_i в окрестности произвольной точки М (рис. 1). Малый угол поворота вокруг оси X_1 происходит за счет вращения среды, как жесткого целого и определяется тензором ω_{ij} [5]:

$$\begin{aligned} \delta\varphi_1 &= -\frac{1}{2} \varepsilon_{1jk} \omega_{jk} = -\frac{1}{2} (\varepsilon_{123} \omega_{23} + \varepsilon_{132} \omega_{32}) = \\ &= -\omega_{23} = \omega_{32}, \end{aligned}$$

где ε_{1jk} – символ Кронекера.

Последнюю формулу с учетом (3) и (4) преобразуем к виду

$$\delta\varphi_1 = A_{3i} A_{2j} \omega'_{ij} = b'_i n'_j \omega'_{ij}. \quad (6)$$

Малый угол поворота вектора dx_i вокруг оси X_2 , как видно из (рис. 1), равен частной производной $\delta\varphi_2 = -\frac{\partial u_3}{\partial x_1}$. Но по определению тензора полной деформации справедливо равенство $\frac{\partial u_3}{\partial x_1} = \xi_{31}$. Отсюда, с учетом (3) и (5), получим формулу:

$$\delta\varphi_2 = -\xi_{31} = -A_{3i} A_{1j} \xi'_{ij} = -b'_i \tau'_j \xi'_{ij}. \quad (7)$$

Аналогично, рассматривая по (рис. 1) поворот вокруг оси X_3 , можно получить еще одну формулу

$$\delta\varphi_3 = \frac{\partial u_2}{\partial x_1} = \xi_{21} = A_{2i} A_{1j} \xi'_{ij} = n'_i \tau'_j \xi'_{ij}. \quad (8)$$

Далее проанализируем изменение кручения и кривизны стержня. Вектор кривизны пространственной кривой линии определяется интенсивностью вращения естественных осей $X_1 X_2 X_3$ при движении вдоль дуги s . Пусть в исходном (недеформированном) состоянии среды при перемещении вдоль линии на длину ds естественные оси поворачиваются на угол $d\varphi_{io}$, тогда вектор начальной кривизны равен $\Omega_{io} = \frac{d\varphi_{io}}{ds}$.

В процессе деформации длина дуги ds пространственной линии увеличивается на величину $\delta(ds) = \varepsilon \cdot ds$, а угол поворота естественного трехгранника получает приращение $\delta\varphi_i$. Тогда новое значение кривизны линии будет равно

$$\begin{aligned} \Omega_i &= \frac{d\varphi_i}{ds'_i} = \frac{d(\varphi_{io} + \delta\varphi_i)}{ds + \varepsilon \cdot ds} = \\ &= \frac{\frac{d\varphi_{io}}{ds} + \frac{d(\delta\varphi_i)}{ds}}{1 + \varepsilon} = \\ &= \frac{\Omega_{io} + \frac{d(\delta\varphi_i)}{ds}}{1 + \varepsilon}. \end{aligned}$$

Умножив числитель и знаменатель последнего равенства на $(1 - \varepsilon)$ и отбросив члены второго порядка малости по сравнению с ε , получим

$$\Omega_i = \Omega_{io} (1 - \varepsilon) + \frac{d(\delta\varphi_i)}{ds}.$$

Вычтем из последнего равенства начальную кривизну Ω_{io} , получим искомую формулу для расчета изменения вектора кривизны пространственной линии

$$\begin{aligned} \delta\Omega_i &= \Omega_i - \Omega_{io} = \\ &= \frac{d(\delta\varphi_i)}{ds} - \varepsilon \cdot \Omega_{io} = \\ &= \delta\Omega_{i\varphi} + \delta\Omega_{i\varepsilon}. \end{aligned} \quad (10)$$

В последней формуле введены следующие обозначения:

– изменение вектора кривизны пространственной линии за счет вращения вместе со средой $\delta\Omega_{i\varphi}$

$$\delta\Omega_{i\varphi} = \frac{d(\delta\varphi_i)}{ds} = \frac{\tilde{d}(\delta\varphi_i)}{ds} + \varepsilon_{ijk}\Omega_j\delta\varphi_k, \quad (11)$$

где $\frac{\tilde{d}(\delta\varphi_i)}{ds}$ – локальная производная вектора $\delta\varphi_i$; $\varepsilon_{ijk}\Omega_j\delta\varphi_k$ – векторное произведение векторов Ω_j и $\delta\varphi_k$;

– изменение вектора кривизны за счет деформации удлинения линии $\delta\Omega_{i\varepsilon}$

$$\delta\Omega_{i\varepsilon} = -\varepsilon \cdot \Omega_{i0}. \quad (12)$$

Совокупность формул (2), (5) – (12) представляет собой общее решение поставленной задачи и позволяет определять все параметры деформации линии, находящейся в сплошной деформируемой среде.

Пример. Кривая линия в виде синусоиды $X'_1 = p$, $X'_2 = \sin p$ (p – скалярный параметр) находится в плоскости $X'_1X'_2$ (рис. 2).

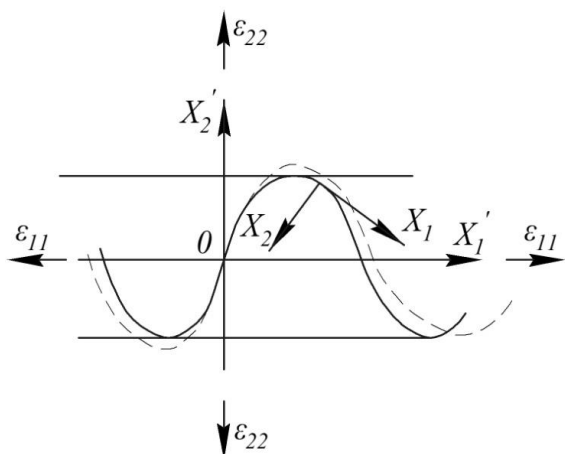


Рис. 2 – Схема плоской деформации синусоиды

Деформация плоскости описывается симметричным тензором (плоская деформация)

$$(\xi'_{ij}) = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} \end{pmatrix},$$

тогда $\omega'_{ij} = 0$ и $e'_{ij} = \xi'_{ij}$.

Необходимо получить формулы для расчета параметров деформации заданной линии.

Выполняя последовательно математические преобразования согласно (2) и далее (5) – (12), в данном примере можно получить следующий комплект конечных формул:

– для относительного удлинения

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{11} + \cos^2 p \cdot \varepsilon_{22}}{1 + \cos^2 p};$$

– для изменения кручения линии и ее кривизны относительно оси X_2

$$\delta\Omega_1 = \delta\Omega_2 = 0;$$

– для изменения кривизны линии относительно оси X_3 ;

$$\delta\Omega_{3\varphi} = \frac{\text{sign}(\sin p) \cdot \sin^3 p}{(1 + \cos^2 p)^{5/2}} (-\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}),$$

$$\delta\Omega_{3\varepsilon} = \frac{\text{sign}(\sin p) \cdot \sin p}{(1 + \cos^2 p)^{5/2}} (-\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} \cdot \cos^2 p).$$

Выводы

1. Приведенный пример подтверждает эффективность общих уравнений в тензорной форме – теперь нет необходимости использовать визуальную картину для описания перемещений пространственно изогнутой оси стержня, и весь анализ осуществляется по общему алгоритму.

2. Предлагаемый метод расчета малых деформаций продольной оси тонкого стержня может быть эффективно использован для решения задач в области механики многопроволочных витых изделий (кабели и стальные канаты).

Список литературы

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – К.: Техника, 1966. – 327 с.
2. Шахназарян Е.А. Об упругом изгибе спиральных канатов // Стальные канаты: сб. научн. тр. – К.: Техника, 1971. – № 8. – С. 127 - 133
3. Малиновский В.А. Стальные канаты. – Одесса: Астропринт, 2001. – 187 с.
4. Timoshenko S. Theory of Elasticity. – McGraw-Hill, 2001 – 567 p.
5. Мак-Коннел А.Дж. Введение в тензорный анализ с приложениями к геометрии, механике и физике. – М.: Физматгиз, 1963. – 411 с.
6. Сокольников И.С. Тензорный анализ. – М.: Наука, 1971. – 376 с.
7. Векуа И.Н. Основы тензорного анализа и теории ковариантов. – М.: Наука, 1978. – 296 с.
8. Коренев Г.В. Тензорное исчисление. – М.: Изд-во МФТИ, 1995. – 240 с.
9. Димитриенко Ю.И. Тензорное исчисление. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
10. Зубов Л.М. Тензорное исчисление / Л.М. Зубов, М.И. Карякин. – М.: Вузовская книга, 2006. – 120 с.
11. Lebedev L. Tensor analysis with applications in mechanics / L. Lebedev, M. Cloud, V. Eremeyev. // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 2010. – 363 p.
12. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
13. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. – 711 с.
14. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.
15. Елисеев В.В. Механика упругих тел. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 336 с.

References

1. Glushko M.F. Stal'nye pod'emnye kanaty. – K.: Tekhnika, 1966. – 327 s.
2. Shakhnazarian E.A. Ob uprugom izgibe spi-ral'nykh kanatov // Stal'nye kanaty: sb. nauchn. tr. – K.: Tekhnika, 1971. – № 8. – S. 127 - 133
3. Malinovskii V.A. Stal'nye kanaty. – Odessa: Astroprint, 2001. – 187 s.
4. Timoshenko S. Theory of Elasticity. – McGraw-Hill, 2001 – 567 p.
5. Mak-Konnel A.Dzh. Vvedenie v tenzornyi analiz s prilozheniiami k geometrii, mekhanike i fi-zike. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 411 s.
6. Sokol'nikov I.S. Tenzornyi analiz. – M.: Nauka, 1971. – 376 s.
7. Vekua I.N. Osnovy tenzornogo analiza i teo-rii ko-variantov. – M.: Nauka, 1978. – 296 s.
8. Korenev G.V. Tenzornoe ischislenie. – M.: Izd-vo MFTI, 1995. – 240 s.
9. Dimitrienko Iu.I. Tenzornoe ischislenie. – M.: Vyssh. shk., 2001. – 575 s.
10. Zubov L.M. Tenzornoe ischislenie / L.M. Zu-bov, M.I. Kariakin. – M.: Vuzovskaia kniga, 2006. – 120 s.
11. Lebedev L. Tensor analysis with applications in mechanics / L. Lebedev, M. Cloud, V. Eremeyev. // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 2010. – 363 p.
12. Lur'e A.I. Teoriia uprugosti. – M.: Nauka, 1970. – 940 s.
13. Rabotnov Iu.N. Mekhanika deformiruemogo tver-dogo tela. – M.: Nauka, 1988. – 711 s.
14. Il'iushin A.A. Mekhanika sploshnoi sredy. – M.: Izd-vo MGU, 1990. – 310 s.
15. Eliseev V.V. Mekhanika uprugikh tel. – SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2003. – 336 s.

УДК 621.952

ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ КОРПУСОВ С СОВМЕЩЕНИЕМ ПРОЦЕССОВ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ И ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Л.Б. Шрон¹, В.Б. Богуцкий¹, Э.С. Гордеева¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская федерация

Аннотация

Предложен метод совмещения операций тонкого растачивания и тонкого пластического деформирования при обработке точных отверстий, позволяющий не только повышать качество обработанной поверхности, но и при определенных условиях предоставляет возможность одновременно увеличивать производительность обработки. Разработана и экспериментально проверена инженерная методика расчета и выбора геометрии деформирующего элемента, а именно выбор оптимального радиуса деформирующего элемента для смятия неровностей в продольном направлении. Определены оптимальная подача и усилия для деформационного упрочнения поверхности, обрабатываемых отверстий для условий совмещенной обработки. Предложена наиболее эффективная конструкция комбинированного инструмента для условий совмещенной обработки.

Ключевые слова: совмещенная обработка, пластическое деформирование, продольная волнистость, шероховатость, радиус кривизны.

PROCESSING OF HOLES IN CASINGS WITH THE COMBINATION OF THE PROCESSES OF THIN WHETTING AND PLASTIC DEFORMATION

L.B. Shron¹, V.B. Bogutsky¹, E.S. Gordeeva¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The method of combining thin whetting and thin plastic deformation during the processing of precise holes is proposed, which allows not only to improve the quality of the treated surface, but under certain conditions it also provides the opportunity to simultaneously increase the processing capacity. An engineering method for calculating and selecting the geometry of the deforming element has been developed and experimentally tested, namely, the choice of the optimum radius of the deforming element for the crushing of unevenness in the longitudinal direction. Optimal feeding tool and forces for strain hardening of the surface, machined holes for the conditions of combined processing are determined. The most effective design of the combined tool for conditions of combined processing is offered.

Keywords: combined processing, plastic deformation, longitudinal undulation, roughness, radius of curvature.

Применяемые методы обработки точных отверстий, такие как тонкое растачивание на алмазно-расточных станках или прецизионное растачивание на координатно-расточных станках, обеспечивая высокую точность обработки, не могут гарантировать получение высокого качества обработанной поверхности и уступают ряду отделочных операций по достижимой шероховатости поверхности. Поэтому в технологический процесс обработки точных основных отверстий дополнительно вводят операции: притирки, калибро-

вания, хонингования, раскатывания или алмазного выглаживания [1-10]. Приведенные выше операции, как правило, выполняются последовательно, что приводит к появлению экономических проблем, но не создает технических проблем. Эти проблемы возникают при совмещении операций на одном оборудовании с использованием комбинированного инструмента. При этом, как правило, отсутствуют готовые технические решения и по конструкции инструмента, и по параметрам совмещенного процесса [11-12].

Цель данной работы состоит в разработке инженерных методик, позволяющих определять параметры технологического процесса совмещенной обработки точных основных отверстий корпусов методами тонкого растачивания и пластического деформирования. Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

- предложить наиболее эффективную конструкцию комбинированного инструмента для условий совмещенной обработки;
- разработать и экспериментально проверить инженерную методику расчета и выбора геометрии деформирующего элемента комбинированного инструмента;
- разработать и проверить методику определения оптимальной подачи для условий совмещенной обработки;
- определить оптимальные усилия для деформационного упрочнения поверхности обработанных отверстий.

Независимо от метода деформирования поверхности (раскатывания или алмазного выглаживания) возникает задача расчета и выбора радиуса сферы деформирующего элемента [13-15]. Профиль обработанной резанием поверхности представляет собой сочетание погрешностей формы, волнистости и шероховатости поверхности. Задачей пластического деформирования является уменьшение шероховатости поверхности без изменения достигнутых растачиванием погрешностей формы и волнистости. Решить данную задачу можно выбирая радиус деформирующего элемента меньшим чем радиус кривизны волны на поверхности отверстия после растачивания т.е. при условии $R < \rho$.

Главным фактором, определяющим волнистость поверхности, является отношение частоты гармонического относительного колебания детали и инструмента f_k к частоте вращения детали или инструмента f_B . Образование волнистости в продольном сечении зависит от того, будет ли отношение f_k / f_B целым или дробным числом. Продольные волны возникают только при дробном отношении f_k / f_B . Поэтому данное отношение в расчётах выражают в виде суммы:

$$\frac{f_k}{f_B} = \psi \pm \psi', \quad (1)$$

где ψ – целое число; ψ' – дробная часть отношения.

Высота и длина волн определяется податливостью технологической системы и элементами режима резания.

Волнистость поверхности в продольном сечении детали (рис.1) можно представить в виде выражения:

$$Y = a \cdot \sin \omega x, \quad (2)$$

где a – амплитуда волн; ω – частота волн.

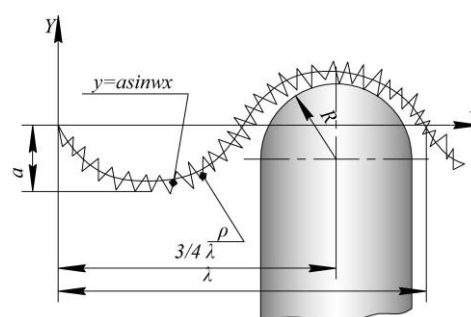


Рис. 1 Схема к расчету инструмента для пластического деформирования поверхности

Радиус кривизны продольной волны при этом определяется по формуле:

$$|\rho| = \frac{(1 + a^2 \omega^2 \cos^2 \omega x)^{\frac{3}{2}}}{-a \omega^2 \sin \omega x}. \quad (3)$$

Наименьшее значение радиуса кривизны волны получается при $\cos \omega x = 0$, следовательно

$$\rho = \frac{1}{a \omega^2}, \quad (4)$$

или, принимая во внимание, что $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$, получим

$$\rho = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 a}, \quad (5)$$

где λ – длина продольной волны.

Таким образом, определив радиус кривизны продольной волны ρ и выдерживая условие $R < \rho$, можно выбрать оптимальный радиус деформирующего элемента для смятия неровностей в продольном направлении. Если указанное условие не будет выполнено, то не будет гарантирован контакт инструмента со впадинами волн и шероховатость

поверхности будет уменьшена только на вершинах волн.

Если отношение частоты гармонического относительного движения (колебания) детали и инструмента к частоте вращения шпинделя выражается целым числом, то круговая волна после одного оборота замыкается (с учетом смещения вдоль оси на величину оборотной подачи) и продольная волна в этом случае отсутствует. Радиус деформирующего элемента для смятия неровностей круговой волны получается из условия $R' < \rho'$ и определяется по формуле:

$$R' < R_0 + \frac{a_{\max} (a_{\max} - 2R_0 \cos \frac{3f_B}{2f_K})}{2(a_{\max} + R_0 (1 - \cos \frac{3f_B}{2f_K}))}, \quad (6)$$

где R_0 – радиус геометрически правильной окружности (радиус обрабатываемого отверстия); $a_{\max}$ – максимальная амплитуда круговой волны.

В результате получаются два значения радиуса деформирующего элемента R и R' для смятия неровностей продольной и круговой волн. Меньший из этих двух радиусов гарантированно обеспечит смятие неровностей как круговой, так и продольной волн.

Правильность данной теории расчета и выбора геометрии деформирующего инструмента проверялась на примере предварительного тонкого растачивания отверстий и последующего их раскатывания на отделочно-расточном станке модели 2705В. Для тонкого растачивания при $V = 100 \text{ м/мин}$; $S = 0,08 \text{ мм/об}$; $D = 60 \text{ мм}$, $f_K = 395 \text{ 1/с}$, $f_B = 55 \text{ 1/с}$, получим $R < 3,4 \text{ мм}$.

Влияние радиуса деформирующего элемента на шероховатость поверхности определялось при обработке чугуна СЧ20. Исходная шероховатость поверхности соответствовала $R_a = 2,5 \text{ мкм}$. Увеличение радиуса деформирующего элемента до 3 мм приводит к значительному уменьшению шероховатости поверхности. Шар катится по волне, сминая гребешки неровностей, как на вершинах, так и во впадинах волны. Дальнейшее увеличение радиуса до 5 мм приводят к ухудшению шероховатости поверхности, т.к. шар сминает гребешки неровностей только

на вершинах волн. Описанный механизм смятия неровностей был подтвержден также множеством профилограмм обработанной поверхности. Применение инструмента с радиусом, меньшим оптимального (1÷2 мм), также обеспечивает эффективное смятие неровностей, однако на существенно меньших подачах, т.е. при меньшей производительности обработки.

Совмещение операций тонкого растачивания и тонкого пластического деформирования поверхности позволяет не только повышать качество обработанной поверхности, но и при определенных условиях предоставляет возможность одновременно увеличивать и производительность обработки. Наилучшим вариантом совмещения указанных операций с точки зрения производительности есть такой, когда и резец, и деформирующий инструмент располагаются диаметрально противоположно в одном отверстии расточной борштанги. В этом случае необходимо, чтобы вершина резца была смещена вперед за счет затачивания по шаблону на величину L с целью исключения контакта сферы деформирующего инструмента с необработанной поверхностью (рис. 2).

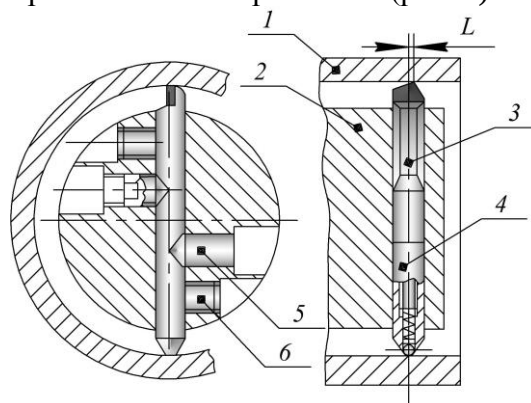


Рис. 2 Конструкция инструмента для совмещенной обработки отверстий тонким растачиванием и пластическим деформированием: 1– обрабатываемая деталь; 2– борштанга; 3– резец; 4– шариковый раскатник; 5– винт регулировочный; 6– винт зажимной

Величина смещения L может быть определена по следующей формуле:

$$L = R \sin \phi - (R(1 - \cos \phi) - t_v) \operatorname{ctg} \phi + \frac{S}{2}, \quad (7),$$

где R – радиус деформирующего элемента; ϕ – главный угол резца в плане; t_v – глубина

внедрения деформирующего элемента в обрабатываемый материал.

При тонком пластическом деформировании поверхности отверстий на алмазно-расточных станках обработке подлежат только гребешки неровностей, поэтому можно считать, что:

$$t_v = R_z = \frac{S^2}{8r}. \quad (8)$$

Так как величина подачи S одинакова для растачивания и пластического деформирования, то шероховатость раскатанной (выглаженной) поверхности определится по формуле:

$$R_{zo} = \frac{r}{R} R_{zp}, \quad (9)$$

где r – радиус закругления вершины резца; R – радиус деформирующего элемента; R_{zp} – шероховатость поверхности после тонкого растачивания; R_{zo} – шероховатость поверхности после пластического деформирования.

Из формулы (9) следует, что высота неровностей после обработки методами тонкого пластического деформирования в значительной степени зависит от исходной шероховатости поверхности. Поэтому ради достижения минимальной шероховатости процесс тонкого растачивания необходимо вести на небольших подачах (до $S = 0.04$ мм/об). В свою очередь уменьшение подачи приводит к увеличению пути резания, в результате чего растут размерный износ инструмента и конусность расточенных отверстий. Следовательно, исходя из условий повышения точности обработки при тонком растачивании, необходимо работать в зоне повышенных подач.

С другой стороны, при обработке давлением, величина подачи должна быть меньше диаметра отпечатка деформирующего элемента на обрабатываемой поверхности, так как на ней могут остаться необработанные участки. К тому же необходимо учесть, что наиболее плавная обработка давлением будет проходить в том случае, когда в контакте с деформирующим элементом находится не менее трех выступов неровностей. Число выступов неровностей расточенной поверхности, которые находятся в контакте с де-

формирующим элементом, определяется из выражения:

$$z = \frac{d_{omn}}{S}, \quad (10)$$

где d_{omn} – диаметр отпечатка деформирующего элемента на обрабатываемой поверхности при оптимальном усилии вдавливания, равном усилию пластического деформирования.

Подставляя в полученное выражение (10) число выступов неровностей $z = 3$ и экспериментально полученный диаметр отпечатка для принятых значений диаметра деформирующего элемента и усилия прижима, можно определить оптимальную для данных условий подачу.

Проверка описанной методики проводилась при одновременном тонком растачивании и раскатывании шариком отверстий диаметром 60 мм в заготовках из чугуна СЧ 20. Усилие прижима деформирующего элемента к обрабатываемой поверхности составляло 100 Н. Диаметр отпечатка проверялся на заготовках с исходной шероховатостью, полученной после тонкого растачивания резцом с $r = 0.7$ мм. Для диаметра деформирующего элемента $R = 3$ мм расчетное количество выступов неровностей, находящихся с ним в контакте при различных подачах, приведено в (табл. 1).

Таблица 1

R=3мм P _Y =100Н	S=0,04мм/об			S=0,08мм/об		
	Ra _{исх}	d _{отп}	z	Ra _{исх}	d _{отп}	z
	1,12	0,22	5,5	1,25	0,245	3,06
R=3мм P _Y =100Н	S=0,12мм/об			S=0,16мм/об		
	Ra _{исх}	d _{отп}	z	Ra _{исх}	d _{отп}	z
	1,87	0,274	2,28	2,41	0,283	1,7

В соответствии с принятой методикой оптимальной для заданных исходных условий должна быть подача $S = 0,08$ мм/об. Этот вывод подтверждается результатами эксперимента с совмещением операций растачивания и раскатывания отверстий. При изменении общей подачи для растачивания и пластического деформирования изменяются как исходная (табл. 1), так и окончательно достигнутая шероховатость поверхности (рис. 1). Отношение между ними с достаточной степенью точности согласуется с расче-

том по формуле (9). Конусность отверстий на длине 60 мм при подаче $S = 0.04$ мм/об составила 3-4 мкм, а при подаче $S = 0.08$ мм/об не превышала 2 мкм. Таким образом, при незначительном ухудшении шероховатости поверхности на оптимальной подаче возросли точность и производительность обработки.

При обработке отверстий тонким пластическим деформированием с продольной подачей равнодействующая всех усилий как и при обработке резанием раскладывается на три составляющие: нормальную P_Y , касательную P_Z и осевую P_X . Основной составляющей, которая создает необходимое давление в зоне контакта деформирующего элемента и заготовки, является нормальная сила P_Y .

В соответствии с поставленной задачей операции оптимальным будет усилие P_Y , при котором достигается смятие только шероховатости поверхности без изменения достигнутых предыдущей обработкой параметров точности формы и волнистости поверхности.

Величина усилия P_Y , необходимого для смятия неровностей предыдущей обработки может быть определена по следующим зависимостям:

при алмазном выглаживании

$$P_Y = 2\pi R \cdot \sigma_T \cdot k_\mu \cdot R_z^{исх}, \quad (11)$$

при раскатывании

$$P_Y = 5,14\pi R \cdot \sigma_T \cdot R_z^{исх}, \quad (12)$$

где R – радиус деформирующего элемента, мм; σ_T – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; $R_z^{исх}$ – высота неровностей исходной поверхности, мм; k_μ – параметр, который учитывает характер трения деформирующего элемента и заготовки,

$$k_\mu = \frac{3\pi}{4} - \frac{\arccos 2\mu}{2} + \frac{\sqrt{1-4\mu^2}}{2} + \frac{1}{2}, \quad (13)$$

где μ – коэффициент трения.

При обработке на алмазно-расточных станках, когда деформирующий элемент вращается вместе с расточной борштангой, необходимо также учитывать и величину центробежной силы, которая действует на

деформирующий элемент. В этом случае суммарное нормальное усилие, действующее на обрабатываемую поверхность, определится выражением

$$P_Y = P_H + P_{Ц}, \quad (14)$$

где P_H – усилие, развиваемое пружиной деформирующего элемента (усилие настройки); $P_{Ц}$ – центробежная сила, действующая на деформирующий элемент.

Тогда:

$$P_{Ц} = \frac{mV^2}{r_{Ц}} \quad (15) \text{ и } P_Y = P_H + \frac{mV^2}{r_{Ц}} \quad (16)$$

где m – масса деформирующего элемента, кг; V – скорость обработки, м/с; $r_{Ц}$ – радиус центра тяжести деформирующего элемента, м.

Так как центробежная сила $P_{Ц}$ возникает при вращения борштанги в процессе обработки независимо от усилия предварительной настройки упругого элемента (пружины) деформирующего инструмента, то настройку этого элемента нужно выполнять не на расчетную величину P_Y , а на усилие настройки

$$P_H = P_Y - P_{Ц} = P_Y - \frac{mV^2}{r_{Ц}}. \quad (17)$$

Экспериментальная проверка расчета нормальной составляющей усилия деформирования проводилась при обработке отверстий диаметром $D=60$ мм в заготовках из чугуна СЧ 20. Скорость обработки $V=100$ м/мин, масса подвижной части раскатника $m=0.02$ кг, радиус центра тяжести деформирующего элемента $r_{Ц}=25$ мм, начальная высота неравенств поверхности $R_z^{исх} = 10$ мкм, радиус деформирующего элемента $R = 3$ мм. В результате получены следующие значения усилий: $P_Y = 97$ Н; $P_{Ц} = 22$ Н; $P_H = 75$ Н.

Результаты раскатывания поверхностей отверстий подтвердили, что по мере увеличения усилия P_Y до 100Н шероховатость поверхности заметно уменьшается. Дальнейшее увеличение усилия прижима в пределах исследованного диапазона практически не влияет на шероховатость поверхности. Таким образом усилие $P_Y=100$ Н для исходных условий эксперимента можно признать оптимальным, что полностью отвечает результатам расчета.

Выводы

Предложенные в работе методики расчета и выбора геометрии деформирующего инструмента, подачи и усилия деформации для условий совмещения технологических операций тонкого растачивания и тонкого пластического деформирования точных отверстий расточенной поверхности способствуют одновременному достижению следующих результатов:

- повышению точности обработки за счет уравнивания усилий от режущего и деформирующего инструментов;
- существенному увеличению производительности и экономичности обработки;
- уменьшению высоты неровностей на обработанной поверхности и ее упрочнению.

Список литературы

1. Линчевский П.А. Расширение технологических возможностей отделочно-расточных станков совмещением операций/ Линчевский П.А., Ильяшенко А.А. // Металлорежущие станки: Респ. межвед. науч.-техн. сб.-К.: Техника, 1992.- Вып. 20. С. 62-65.
2. Довгалева А.М. Совмещенная отделочно-упрочняющая обработка деталей машин вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем. // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 4 (53). с. 15-23.
3. Кириллов О.Н. Оработка технологичности корпусных деталей для комбинированных методов обработки. / О.Н. Кириллов, В.И. Гунин, А.А. Никитин// Вестник Воронежского государственного технического университета. Воронеж - 2009. Т. 5. № 9. С. 174-176
4. Шрон Л.Б. Использование методов фотомеханики для анализа процессов резбообразования. Л.Б. Шрон, В.Б. Богуцкий, Ф.Н. Канареев// Вестник современных технологий. Севастополь - 2016. № 2 (2). с. 81-85.
5. Богуцкий В.Б. Восстановление размеров деталей малых цилиндрических сопряжений повышенной точности для повторной сборки/ В.Б. Богуцкий, Л.Б. Шрон// Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Симферополь - 2011. № 27. с. 16-21.
6. Линчевский П.А., Обработка деталей на отделочно-расточных станках/ Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А. – К.: Техніка, 2000. – 300 с.

7. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
8. Смелянский В.М. Особенности размерообразования при совмещенном обкатывании. / В.М. Смелянский, В.А. Васильев // Автомобильная промышленность. – 1982. - №3. – с. 28-30.
9. Рыжанков Д.М., Потупец А.В. Интенсификация процесса совмещенной обработки резанием и ППД.// Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной науч.-техн. конф., – Могилев, 2007.- с.95.
10. Хворостухин Л.А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин и др. – М.: Машиностроение, 1988. - 144 с.
11. Чистосердов П.С. Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки. - Мн.: Беларусь, 1977 – 124 с. А.С. 1180246 СССР, МКИ4 В24В39/00.
12. Сургунт Я.М. Устройство для совмещенной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием /, А.М. Довгалева (СССР). - №368710/25-27; Заявлено 06.01.84; Опубл. 23.09.85, Бюл. №35. – 2с. 13.
13. Жасимов М.М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании. - Алма-Ата: Наука, 1986 – 208с.
14. Потупец А.В. Интенсификация процесса совмещенной обработки резанием и ППД. // тез. докл.научн. техн. конф. май 2007 г. – Могилев, 2007. - с.138.
15. Линчевский П.А. Особенности совмещенной обработки основных отверстий в силовых агрегатах сельхозмашин /П.А. Линчевский, В.Д. Иоргачев, Л.Б. Шрон, Богуцкий В.Б., Б.Л. Шрон // Збірник наукових праць ПФ НУБ і П України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки, вып.146 – Сімферополь: 2012. С136-143

References

1. Linchevskii P.A. Rasshirenie tekhnologicheskikh vozmozhnostei otdelochno-rastochnykh stankov sovmeshcheniem operatsii/ Linchevskii P.A., Il'iaschenko A.A. //Metallorazhushchie stanki: Resp. mezhved. nauchtekh. sb.-K.: Tekhnika, 1992.- Vyp. 20. S. 62-65.
2. Dovgalev A.M. Sovmeshchennaia otdelochno-uprochniushchaia obrabotka detalei mashin vibrodinamicheskim nakatyvaniem i vraschchaiushchimsia magnitnym polem. // Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta. 2016. № 4 (53). s. 15-23.
3. Kirillov O.N. Otrabotka tekhnologichno-sti korpusnykh detalei dlia kombinirovannykh metodov obrabotki. / O.N. Kirillov, V.I. Gunin, A.A. Nikitin// Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo

- tehnicheskogo universiteta. Voronezh - 2009. T. 5. № 9. S. 174-176
4. Shron L.B. Ispol'zovanie metodov foto-mekhaniki dlia analiza protsessov rez'boob-razovaniia. L.B. Shron, V.B. Bogutskii, F.N. Kanareev// Vestnik sovremennykh tekhnologii. Sevastopol' - 2016. № 2 (2). s. 81-85.
 5. Bogutskii V.B. Vosstanovlenie razmerov detalei malykh tsilindricheskikh sopriazhenii povyshennoi tochnosti dlia povtorno sborki/ V.B. Bogutskii, L.B. Shron// Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Simferopol' - 2011. № 27. s. 16-21.
 6. Linchevskii P.A., Obrabotka detalei na otdelochno-rastochnykh stankakh /Linchevskii P.A., Dzhuguri-an T.G., Orgiian A.A. – K.: Tekhnika, 2000. – 300 s.
 7. Papshev D.D. Otdelochno-uprochniaiushchaia obrabotka poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem. – M.: Mashinostroenie, 1978.- 152 s.
 8. Smelianskii V.M. Osobennosti razmero-obrazovaniia pri sovmeshchenom obkattyva-nii./ V.M. Smelianskii, V.A. Vasil'ev // Av-tomobil'naia promyshlennost'. – 1982. - №3. – s. 28-30.
 9. Ryzhankov D.M., Potupets A.V. Intensi-fikatsiia protsessa sovmeshchennoi obrabotki rezaniem i PPD.// Materialy, oborudovanie i resursosbere-gaiushchie tekhnologii: materialy mezhdunarodnoi nauchn.-tekhn. konf., – Mogilev, 2007.- s.95.
 10. Khvorostukhin L.A. Povysenie ne-sushchei sposobnosti detalei mashin po-verkhnostnym up-rochneniam / L.A. Khvo-rostukhin i dr. – M.: Mashinostroenie, 1988.- 144 s.
 11. Chistoserdov P.S. Kombinirovannye instrumenty dlia otdelochno-uprochniaiushchei obrabotki.- Mn.: Belarus', 1977 – 124 s. A.C. 1180246 SSSR, MKI4 V24V39/00.
 12. Surgunt Ia.M. Ustroistvo dlia sovmeshchennoi obrabotki rezaniem i poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem./, A.M. Dovgalev (SSSR). - №368710/25-27; Zaiavle-no 06.01.84; Opubl. 23.09.85, Biul.№35. – 2s. 13.
 13. Zhasimov M.M. Upravlenie kache-stvom detalei pri poverkhnostnom plasticheskom deformirovanii. - Alma-Ata: Nauka, 1986 – 208s.
 14. Potupets A.V. Intensifikatsiia protsessa sovmeshchennoi obrabotki rezaniem i PPD.// tez. dokl.nauchn. tekhn. konf. mai 2007 g. – Mogilev, 2007.- s.138.
 15. Linchevskii P.A. Osobennosti sovmeshchen-noi obrabotki osnovnykh otverstii v silovykh agregatakh sel'khoz mashin /P.A. Linchevskii, V.D. Iorgachev, L.B. Shron, Bogutskii V.B., B.L. Shron // Zbirnik naukovikh prats' PF NUB i P Ukraïni «Krimskii agrotekhnologichnii universitet». Tekhnichni nauki, vyp.146 – Simferopol': 2012. S136-143.

Научное издание

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Выпуск №7 2017

Рубрики в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников:

- Машиностроение и машиноведение (05.02.00)
- Информатика, вычислительная техника и управление (05.13.00)
- Транспорт (05.22.00)
- Безопасность деятельности человека (05.26.00)
- Технология продовольственных продуктов (05.18.00)

Адрес редакции:

299053, г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14, каб. 163

<http://sevsu.ru/nauka/pechatnye-izdaniya>

Телефон редакции: 8(692)41-77-41 добавочный 1150

e-mail: vst_sevsu@mail.ru

Публикуемые материалы прошли процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на сборник научных трудов «Вестник современных технологий» обязательна.

Сборник зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64121 от 25.12.2015 г.
