

Главный редактор научного журнала
«Известия Волгоградского государственного технического университета»
академик РАН, профессор, доктор химических наук,
президент Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)
И. А. НОВАКОВ

Редакционная коллегия:

Анциферов В. Н., академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Научный центр порошкового материаловедения (г. Пермь, Россия)
Байбурин В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАЕН, засл. деятель науки РФ,
Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Безъязычный В. Ф., д-р техн. наук, проф.,
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (г. Рыбинск, Россия)
Бодров В. Н., д-р, проф., Университет прикладных наук (г. Берлин, Германия)
Бребельс А., PhD, доцент факультета инженерных наук университета г. Левена (г. Левен, Бельгия)
Буренин А. А., чл.-корр. РАН, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН
(г. Комсомольск-на-Амуре, Россия)
Голованчиков А. Б., д-р. техн. наук, проф. ВолгГТУ
Гринберг Б. А., д-р физ.-мат. наук, Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)
Гуревич Л. М., д-р техн. наук, доц. ВолгГТУ
Добрушин Л. Д., д-р техн. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев, Украина)
Злотин С. Г., д-р хим. наук, проф., Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (г. Москва, Россия)
Иванов А. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ, г. Москва, Россия)
Иващенко Н. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Камаев В. А., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, ВолгГТУ
Королев А. В., д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет (г. Саратов, Россия)
Кузьмин С. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Кураев А. А., д-р физ.-мат. наук, проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь)
Лысак В. И., чл.-корр. РАН, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Марков В. А., д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет
(МГТУ) им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)
Мертен Клеменс, д-р техн. наук, проф. Universität Stuttgart Institut für Chemische Verfahrenstechnik
(г. Штутгарт, Германия)
Навроцкий А. В., д-р хим. наук, проф. ВолгГТУ
Нижегородцев Р. М., д-р экон. наук, главный научный сотрудник,
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва, Россия)
Пай В. В., д-р физ.-мат. наук, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)
Полянчиков Ю. Н., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Пустовойт В. Н., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет
(г. Ростов-на-Дону, Россия)
Ревин А. А., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Русинов В. Л., чл.-корр. РАН, Химико-технологический институт Уральского федерального университета
(ХТИ УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)
Рыбин В. В., чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Санкт-Петербургский политехнический университет (г. Санкт-Петербург, Россия)
Трюэль Жан-Луи, д-р экон. наук, проф., Университет «Париж-12», Сорбонна, Франция,
вице-президент Международного клуба экономистов «Круг Кондратьева»
Тхай Куанг Винь, д-р философии, Институт информационных технологий (г. Ханой, Вьетнам)
Федянов Е. А., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ
Фролов В. А., д-р техн. наук, проф., МАТИ – Российский государственный технологический университет
им. К. Э. Циолковского (г. Москва, Россия)
Шаритов В. М., д-р техн. наук, проф.,
Московский государственный технический университет (МАМИ, г. Москва, Россия)
Шаховская Л. С., д-р экон. наук, проф. ВолгГТУ
Шеин А. Г., д-р физ.-мат. наук, проф. ВолгГТУ
Яковлев И. В., д-р техн. наук,
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

Серия
«ПРОГРЕССИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

ИЗВЕСТИЯ



ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Полянчиков Ю. Н., д.т.н., проф.

Сердобинцев Ю. П., д.т.н., проф.
(зам. председателя)

Безъязычный В. Ф., д.т.н. проф.
(РГАТУ им. П. А. Соловьева,
г. Рыбинск)

Схиртладзе А. Г., д.т.н. проф.
(МГТУ «СТАНКИН», г. Москва)

Мухин А. В., д.т.н. проф.
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва)

Бржозовский Б. М., д.т.н. проф.
(СГТУ, г. Саратов)

Королев А. В., д.т.н. проф.
(СГТУ, г. Саратов)

Шумячер В. М., д.т.н., проф. ректор
(ВГИСИ, филиал ВолГАСУ,
г. Волжский)

Сидякин Ю. И., д.т.н., проф.

Ханов Г. В., д.т.н., проф.

Тескер Е. И., д.т.н., проф.

Благовецкая М. М., д.т.н., проф.
проректор (МГУПП, г. Москва)

Паиков Е. В., д.т.н., проф. первый
проректор (СевНТУ, г. Севастополь)

Попов В. И., д.т.н., проф.
(МГУПБ, г. Москва)

Сердобинцев С. П., д.т.н., проф.
(КТУ, г. Калининград)

Плотников А. Л., д.т.н., проф.

Крайнев Д. В., к.т.н., доц.
(ответственный секретарь)

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297.

Журнал распространяется
по подписке.

Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
80811(ОК+ЭК). По вопросам
подписки обращаться
в издательство.

Тел. издательства ВолГТУ:

(8442) 24-84-06

Факс (8442) 24-84-06

otr@vstu.ru

Научный журнал
Издается с января 2004 г.
Выходит двенадцать раз в год

№ 11 (173) Ноябрь 2015

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ высшего образования

«Волгоградский государственный технический университет»

Адрес редакции:

Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.

Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00

E-mail: president@vstu.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

**Авторское право на журнал в целом принадлежит Учредителю,
на отдельные статьи – сохраняется за автором**

*Перепечатка из журнала «Известия Волгоградского государственного технического
университета» категорически запрещена без оформления договора
в соответствии с действующим законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Известия Волгоградского
государственного технического университета» обязательна*

Head Editor of the scientific journal “Izvestiya VSTU”:

Novakov I. A. – Academician of RAS, Prof., Doctor of Chemistry, President of VSTU

Editorial board:

Anziferov V. N., Academician of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., The Department for Powder Material Science (Perm, Russia)

Baiburin V. B., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Academician of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Bezyazychny V. F., D. Sc. (Engineering), Prof., Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov (Rybinsk, Russia)

Bodrov V. N., D. Sc., Prof., University of Applied Sciences (Berlin, Germany)

Brebels A., PhD, Associate Prof., Faculty of Engineering Science of University of Leuven (Leuven, Belgium)

Burenin A. A., Corresponding Member of RAS, Institute of Machinery and Metallurgy of the FEB RAS (Komsomolsk-on-Amur, Russia)

Golovanchikov A. B., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Grinberg B. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Institute of Metal Physics, Ural Division of RAS (Ekaterinburg, Russia)

Gurevich L. M., D. Sc. (Engineering), Associate Prof. of VSTU

Dobrushin L. D., D. Sc. (Engineering), E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)

Zlotin S. G., D. Sc. (Chemistry), Prof., N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Ivanov A. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow Automobile and Road Construction University (MADI) (Moscow, Russia)

Ivashchenko N. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Kamaev V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, VSTU

Korolev A. V., D. Sc., Prof., State Technical University of Saratov (Saratov, Russia)

Kuzmin S.V., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Kurayev A. A., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR) (Minsk, Republic of Belarus)

Lysak V. I., Corresponding Member of RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Markov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

Merten K., D. Sc. (Engineering), Prof., Institute of Chemical Process Engineering (Stuttgart, Germany)

Navrotskiy A. V., D. Sc. (Chemistry), Prof. of VSTU

Nizhegorodtsev R. M., D. Sc. (Economy), Chief research worker, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Pai V. V., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Polyanchikov Y. N., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Pustovoit V. N., D. Sc. (Engineering), Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

Revin A. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Rusinov V. L., Corresponding Member of RAS, Institute of Chemical Technology of Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

Rybin V. V., Corresponding Member of RAS, D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof., St. Petersburg Polytechnic University (St.Petersburg, Russia)

Thai Quang Vinh, D. Sc. (Philosophy), Institute of Information Technology (Hanoi, Vietnam)

Truel J.-L., D. Sc. (Economy), Prof., University Paris Est Créteil, Sorbonne, France, Vice-president of International economists club “Kondratiev Circle”

Fedyanov E. A., D. Sc. (Engineering), Prof. of VSTU

Frolov V. A., D. Sc. (Engineering), Prof., “MATI Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky” (Moscow, Russia)

Sharipov V. M., D. Sc. (Engineering), Prof., Moscow State Technical University “MAMI” (Moscow, Russia)

Shakhovskaya L. S., D. Sc. (Economy), Prof. of VSTU

Sheyin A. G., D. Sc. (Physical and Mathematical Sciences), Prof. of VSTU

Yakovlev I. V., D. Sc. (Economy), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS (Novosibirsk, Russia)

SERIES
«ADVANCED
TECHNOLOGY IN
MACHINE BUILDING»

IZVESTIA



VOLGOGRAD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY

The Journal is included to the list of peer-reviewed scientific journals and publications of the Higher Attestation Commission (HAC) of the RF for publishing of results of candidates for scientific degrees

Editorial board:

Chairman

Polyanchikov Y.N., D. Sc.
(Engineering), Prof.

Serdobintsev Y.P., D. Sc.
(Engineering), Prof. (Vice-chairman)

Bez'yazychniy V.F., D. Sc.
(Engineering), Prof. (RSATU
named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Skhirtladze A.G., D. Sc.
(Engineering), Prof.
(MSTU STANKIN, Moscow)

Mukhin A.V., D. Sc. (Engineering),
Prof. (Bauman MSTU, Moscow)

Brzhozovsky B. M., D. Sc.
(SSTU, Saratov)

Korolev A.V., D. Sc., Prof.
(SSTU, Saratov)

Shumyacher V.M., D. Sc.
(Engineering), Prof., Rector
(Volzhski affiliate of VSUACE,
Volzhski)

Sidyakin Y.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Khanov G.V., D. Sc. (Engineering), Prof.

Tesker E.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Blagoveschenskaya M.M., D. Sc.

(Engineering), Prof., Vice-rector
(MSUFP, Moscow)

Pashkov E.V., D. Sc. (Engineering),
Prof., First vice-rector
(SEVNTU, Sevastopol)

Popov V.I., D. Sc. (Engineering),
Prof. (MSUAB, Moscow)

Serdobintsev S.P., D. Sc.
(Engineering), Prof.

(KSTU, Kaliningrad)

Plotnikov A.L., D. Sc. (Engineering), Prof.
Kraynev D.V. (executive secretary),
Cand. Sc., Ass. Prof.

International index of the journal
ISSN 1990-5297.

The journal is distributed by subscription.
Index of the journal in the catalogue of
the Agency «Rospechat» for the Rus-
sian Federation – 80811(OK+ЭК).
Concerning subscription turn to the
editorial office.

Tel. Of VSTU editorial office:

(+7 8442) 24-84-06
Fax: (+7 8442) 24-84-06
otr@vstu.ru

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 11 (173)
November
2015

FOUNDER:

FSBEI of Higher Professional Education
«Volgograd State Technical University»

Editorial office address:

Volgograd, Lenin avenue, 28.

Tel.: Head Editor – (+7 8442) 24-80-00

E-mail: president@vstu.ru

The journal is registered at the Federal Service on Control in the Sphere of Communication,
IT and Mass Communications (Roscomnadzor)
Registration certificate ПИ № ФС77–61113 of March 19, 2015

Is printed according to the decision of editorial-review board of
Volgograd State Technical University

*The copyright for the journal in general belongs to the Founder,
for separate articles – to authors.*

*Reprint from the journal «Izvestia VSTU» is strongly forbidden without conclusion of an
agreement in accordance with the legislation of the RF
When reprinting the materials, the citation to the journal «Izvestia VSTU» is obligatory*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авдеев А. Р. 50, 71
Афанасенков М. А. 15, 18
Барабанов В. Г. 47
Бондарев А. А. 7
Волков И. В. 68
Головкин В. В. 9
Горшенев Е. А. 31
Грязнов И. Е. 66
Гущин И. А. 50
Долгов К. О. 34
Дроботов А. В. 50
Дятлов М. Н. 34
Егоров Н. И. 12
Ермишов Д. Д. 68
Зубарев Ю. М. 15, 18
Иванюк А. К. 47
Камкин И. П. 24
Као С. Ч. 12
Ковалев А. А. 53
Козачухненко И. Н. 20
Козловцева Н. В. 56
Кормилицин С. И. 41
Крайнев Д. В. 7, 20
Кристалль М. Г. 53
Круглов А. И. 15, 18
Круглов М. А. 59
Крылов Е. Г. 56
Курсин О. А. 12
Курченко А. И. 41
Кухтик М. П. 59
Лапиков М. А. 53
Липатов А. А. 22
Макаров А. М. 53, 68
Мушкин О. В. 61
Нестеренко П. С. 36
Николаева Н. Д. 61
Отений Я. Н. 7
Переладов А. Б. 24
Петрухин А. В. 29
Плотников А. Л. 71
Полянчиков Ю. Н. 7, 12, 20
Поступаева С. Г. 66
Проничев Д. В. 7
Сабо Я. А. 68
Санинский В. А. 29
Сердобинцев Ю. П. 59, 71
Солодков В. А. 12, 39
Стребков И. А. 41
Тодорев А. Н. 34
Труханов В. М. 61
Ханов Г. В. 31, 34
Чигиринский Ю. Л. 7, 36
Швец А. А. 50, 71

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Бондарев А. А., Отений Я. Н., Чигиринский Ю. Л., Полянчиков Ю. Н., Крайнев Д. В., Проничев Д. В.</i>	
Исследование теплопроводности при опережающем пластическом деформировании.....	7
<i>Головкин В. В.</i>	
Интенсификация процесса нарезания резьбы за счет использования энергии ультразвуковых колебаний.....	9
<i>Егоров Н. И., Полянчиков Ю. Н., Солодков В. А., Курсин О. А., Као С. Ч.</i>	
Охватывающий инструмент с роликами для статико-импульсного упрочнения радиуса впадины резьбы.....	12
<i>Зубарев Ю. М., Круглов А. И., Афанасенков М. А.</i>	
Технологические рекомендации по разработке операций ионно-вакуумной модификации металлокерамических твердых сплавов....	15
<i>Зубарев Ю. М., Круглов А. И., Афанасенков М. А.</i>	
Выбор модифицирующих элементов для направленного формирования свойств функциональных барьерных подслоев поверхностного слоя инструментального материала.....	18
<i>Козачухненко И. Н., Крайнев Д. В., Полянчиков Ю. Н.</i>	
Обоснование целесообразности применения опережающего пластического деформирования при точении титановых сплавов.....	20
<i>Липатов А. А.</i>	
Зависимость интенсивности изнашивания титаносодержащего твердосплавного инструмента от степени его затупления при точении аустенитной стали.....	22
<i>Переладов А. Б., Камкин И. П.</i>	
Определение режима изнашивания инструмента при шлифовании.....	24
<i>Петрухин А. В., Санинский В. А.</i>	
Применение элементов САПР при виртуальной сборке комплектующих деталей многоопорного подшипникового узла ДВС.....	29
<i>Ханов Г. В., Горшенев Е. А.</i>	
Возможность применения метода крупных частиц для определения параметров газа внутри полузамкнутого цилиндрического объема при истечении.....	31
<i>Ханов Г. В., Тодоров А. Н., Долгов К. О., Дятлов М. Н.</i>	
Проектирование несущих конструкций транспортных средств в Solidworks с применением макросов.....	34
<i>Чигиринский Ю. Л., Нестеренко П. С.</i>	
Повышение эффективности токарной обработки нежестких деталей за счет применения системы адаптивного управления.....	36
<i>Солодков В. А.</i>	
Контактное взаимодействие и температура при врезании.....	39
<i>Курченко А. И., Кормилицин С. И., Стребков И. А.</i>	
Влияние вида контактного взаимодействия на температуру резания при точении титановых сплавов.....	41

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Барабанов В. Г., Иванюк А. К.</i> Использование САД-систем для выявления критических зон деформации корпусов приборов связи.....	47
<i>Гуцин И. А., Авдеев А. Р., Швец А. А., Дроботов А. В.</i> Принципы создания программы работы устройства объемной печати по трехмерной модели.....	50
<i>Ковалев А. А., Макаров А. М., Кристаль М. Г., Лапиков М. А.</i> Разработка устройства для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров с помощью вакуумных захватов.....	53
<i>Крылов Е. Г., Козловцева Н. В.</i> Формализация процессов обработки информации в системах многопараметрического контроля режущего инструмента.....	56
<i>Кухтик М. П., Сердобинцев Ю. П., Круглов М. А.</i> Настройка робастного регулятора методической печи.....	59
<i>Мушкин О. В., Николаева Н. Д., Труханов В. М.</i> Оптимизация системы горизонтирования и вывешивания платформ.....	61
<i>Поступаева С. Г., Грязнов И. Е.</i> Разработка модели нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в здании.....	66
<i>Сабо Я. А., Макаров А. М., Волков И. В., Ермишов Д. Д.</i> Роботизированное устройство для переработки органических отходов с автоматическим регулированием температуры и влажности.....	68
<i>Сердобинцев Ю. П., Плотников А. Л., Швец А. А., Авдеев А. Р.</i> Оценка факторов, ограничивающих производительность устройств объемной печати.....	71

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.91.01

*А. А. Бондарев, Я. Н. Отений, Ю. Л. Чигиринский, Ю. Н. Полянчиков
Д. В. Крайнев, Д. В. Проничев*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Проведены исследования влияния пластической деформации поверхностного слоя на теплопроводность стали. Экспериментально установлено явление динамической теплопроводности поверхностного слоя: с увеличением глубины наклепанного слоя происходит интегральное снижение теплопроводности поверхностного слоя.

Ключевые слова: теплопроводность, пластическая деформация, точение, легированная сталь.

Investigated the effect of plastic deformation of the surface layer on the thermal conductivity steel. Experimentally established phenomenon of dynamic thermal conductivity of the surface layer - with increasing depth of cold-hardened layer integral thermal conductivity of the surface layer is reduced.

Keywords: thermal conductivity, plastic deformation, turning, stainless steel.

Закономерности выделения и распределения тепла в зоне резания определяют характер механической обработки. Так, в работе [3] отмечается существование различных видов контактного взаимодействия при различных сочетаниях теплопроводности инструментального и обрабатываемого материалов. Параметром, определяющим интенсивность и направление тепловых потоков в зоне резания, является теплопроводность λ контактирующих материалов. При условии постоянства теплопроводности инструментального материала существенный интерес представляет изучение изменения характеристики металла срезаемого слоя, подвергнутого ОПД.

Для определения режима предварительного деформирования [2] предложена характеристика комбинированной обработки – «коэффициент ОПД»:

$$K_{\text{ОПД}} = \frac{h_{\text{нак}}}{t_p}, \quad (1)$$

где $h_{\text{нак}}$ – глубина наклепанного поверхностного слоя, мм; t_p – глубина резания, мм.

Расчет усилия, прикладываемого роликом к заготовке, необходимого для создания в последнем глубины наклепанного слоя $h_{\text{нак}}$, производился по методике [1], учитывающей фор-

му и кривизну контактирующих тел. Согласно [1] размер деформированной зоны $h_{\text{нак}}$:

$$h_{\text{нак}} = \kappa \sqrt{\frac{P}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{0,2}} - \frac{1}{HД} \right)}, \text{ мм} \quad (2)$$

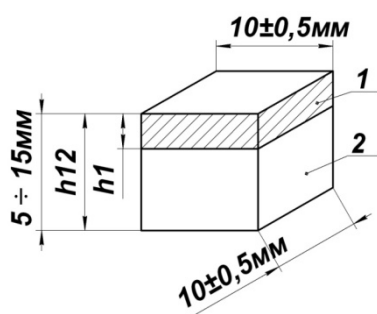
где κ – поправочный коэффициент; P – контактная нагрузка, Н; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; $HД$ – пластическая твердость обрабатываемого материала (ГОСТ 18835-73), МПа.

Для повышения надежности рассчитанных значений усилия деформирования для сообщения определенной глубины наклепанного слоя, использовавшихся в исследовании, фактическая глубина наклепа определялась измерением величины микротвердости по Роквеллу (МПа), при помощи микротвердомера ПМТ-3М.

Так, при рассчитанной деформации для глубины наклепанного слоя в 1 мм и 0,6 мм, фактическая глубина наклепа с учетом устранения выпуклой округлой формы образца составляла 0,91 мм и 0,53 мм соответственно.

Образец (представлен на рисунке) для измерения теплопроводности изготавливались согласно следующей методике. С наружной поверхности стальных валов, находящихся в исходном (недеформированном) состоянии и после

ОПД, ножовкой выпиливались фрагменты металла. Со стороны наружной поверхности вала грань фрагмента имела выпуклую округлую форму. Затем на шлифовальном круге вручную производилось придание образцу формы и размеров, соответствующих рисунку, устранение непараллельности и неперпендикулярности его сопрягаемых поверхностей, зачистка на наждачной бумаге и полировка поверхностей, соприкасающихся с измерителем, а также смазка их термопастой «Титан» для снижения теплового сопротивления на границе контакта прибора и образца.



Образец металла для измерения теплопроводности:
1 – объем деформированного материала; 2 – недеформированный материал основной массы тела; h_1 – глубина наклепанного слоя; h_{12} – общая высота образца

Образцы металла для изучения влияния ОПД на изменение теплопроводности представляли собой сочетание двух слоев: 1 – объем деформированного материала; 2 – недеформированный материал основной массы вала. Образцы металла в исходном состоянии состояли из одного слоя – 2. На рисунке h_1 – глубина наклепанного слоя; h_{12} – общая высота образца. Размер h_1 определялся измерением микротвердости на приборе ПМТ-3.

При исследованиях использовался прибор для измерения теплопроводности КИТ-02Ц, интегрированный с персональным компьютером, который позволяет с высокой точностью

(3-5%) определять коэффициент теплопроводности в диапазоне 1-400 Вт/м·К.

Были получены значения коэффициента теплопроводности λ для образцов металла в исходном состоянии и после ОПД (см. таблицу)

Значения теплопроводности образцов в зависимости от глубины упрочнения

	б/ОПД	1/2 Коэффициент макс. эфф.	Коэффициент макс. эфф.
$\lambda_{общая}$ (Вт/(м*К))	35,08	33,12	31,97

Экспериментальные данные показывают, что с увеличением глубины упрочнения общая теплопроводность образца снижается, что позволяет нам сделать вывод о присутствии явления динамической теплопроводности поверхностного слоя заготовки, то есть с изменением глубины опережающей пластической деформации происходит изменение теплопроводности в наклепанном слое.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Пат. 2399460 РФ. МПК В 23 В 1/00. Способ обработки деталей резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю.Н. Полянчиков, П.А. Норченко, Д.В. Крайнев, А.Р. Ингеманссон, Л.А. Качалова, Л.С. Ангеловская; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – № 2009111702/02; заявл. 30.03.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. 6 с.
3. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
4. Постников, В. С. Физика и химия твердого состояния / В. С. Постников. – М.: Металлургия, 1978. – 544 с.
5. Исследование теплопроводности биметаллических соединений из однородных и разнородных сталей / Л. М. Гуревич [и др.] // Изв. ВолгГТУ. Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении». Вып. 3: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – № 11. – С. 31-35.

УДК 621.9

*В. В. Головкин***ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Самарский государственный технический университет

E-mail: ms-ap@samgtu.ru

Представлено устройство для введения в зону резания ультразвуковых колебаний и результаты экспериментальных исследований при резьбонарезании.

Ключевые слова: Ультразвуковые колебания, крутящий момент резания, нарезание резьбы.

A device for the introduction of the cutting zone ultrasonic –wane oscillations and experimental results for thread cutting.

Keywords: Ultrasonic vibrations, torque cutting, threading.

В настоящее время для повышения надежности ответственных деталей машин все более широкое применение получают высокопрочные материалы, обладающие особыми физико-механическими характеристиками. К таким материалам относятся сплавы на никелевой основе, титановые сплавы и другие. Механическая обработка данных материалов характеризуется низкой производительностью и стойкостью инструмента вследствие интенсивного его износа, а также недостаточным качеством обработанной поверхности. Повысить эффективность механической обработки лезвийным инструментом возможно путем введения в зону резания высокочастотных (ультразвуковых) колебаний малой амплитуды. При этом ультразвуковые колебания принудительно подаются от ультразвукового генератора и могут регулироваться по частоте, величине и направлению. Результаты проведенных исследований показали эффективность ультразвукового воздействия при нарезании внутренних резьб метчиками. Эффективность применения ультразвука связана с уменьшением сил резания за счет уменьшения трения на режущих кромках метчика и калибрующих зубьях, при этом уменьшается деформация метчика, что также приводит к уменьшению сил и повышению точности формирования резьбового профиля при обработке. Для выявления эффективности применения ультразвуковых колебаний при нарезании внутренних резьб метчиками были проведены специальные исследования. При этом для введения в зону резания ультразвуковых колебаний были разработаны и изготовлены специальные ультразвуковые устройства, позволяющие реализовать данный способ обработки. На рис. 1 приведен общий вид ульт-

развукового устройства для нарезания внутренних резьб М5- М14.

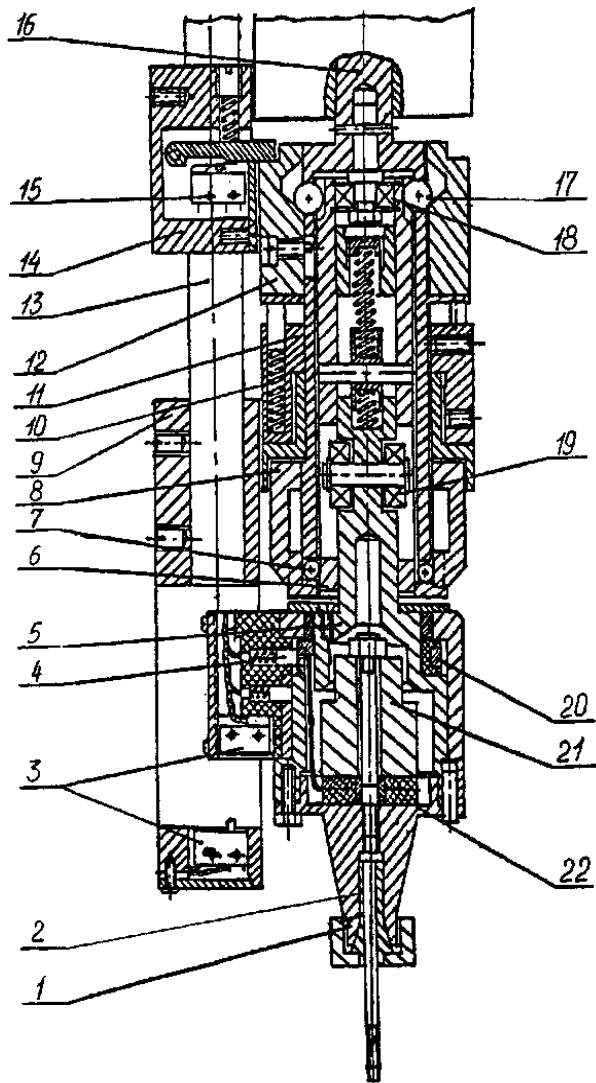


Рис. 1. Ультразвуковое устройство, применяемое для нарезания резьб М5 - М14 в глухих отверстиях

При помощи данного устройства возможно осуществлять нарезание резьбы как в сквозных, так и в глухих отверстиях. Приведенное устройство состоит из пьезокерамического преобразователя 1, в концентраторе которого при помощи цанги и накидной гайки закрепляется метчик 2. Данное крепление обеспечивает достаточный акустический контакт соединяемых деталей и при этом позволяет применять различные типоразмеры метчиков от М5 до М14. Следует отметить, что на метчик в данном устройстве передаются ультразвуковые колебания в осевом направлении. При проектировании данного устройства были учтены особенности процесса резьбонарезания, поэтому в нем реализованы дополнительные технические решения для устранения некоторых технологических недостатков процесса нарезания внутренних резьб и повышения удобства при обработке. Так, например, для исключения возможной поломки метчиков в устройстве имеется предохранительная муфта, работающая следующим образом. При достижении предельного крутящего момента резания шарики 17 преодолевают сопротивление пружин 10 и выходят из пазов ведущего вала 6, при этом прерывается кинематическая связь шпинделя станка и метчика. Для исключения возможной погрешности шага нарезаемой резьбы и подачи станка в ультразвуковом устройстве имеется возможность телескопического выдвижения ведомого вала 5 из ведущего вала 6. При этом нарезание резьбы на глубину до 20 миллиметров может осуществляться без подачи станка. В результате повышается точность обработки и зависит только от точности изготовления профиля резьбы на метчике. Для удобства нарезания резьбы имеется настройка на требуемую глубину при помощи-

микрорелеклячателей 3. Исследования проводились на специальных образцах из труднообрабатываемых материалов (рис. 2).

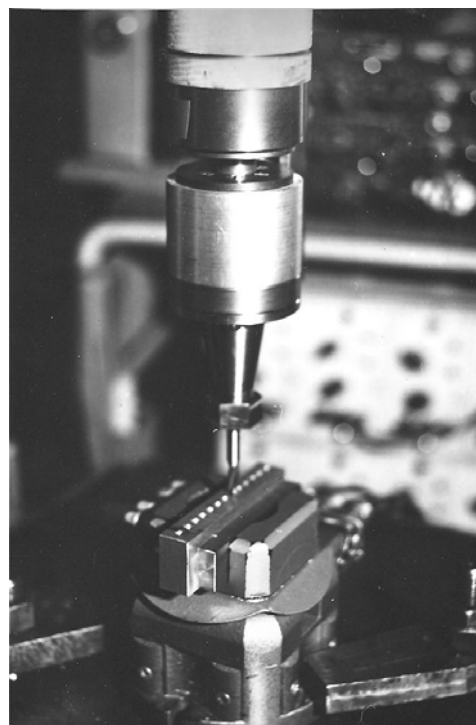


Рис. 2. Измерение крутящего момента при нарезании резьбы в глухих отверстиях на специальных образцах

При проведении исследования определялось влияние осевых ультразвуковых колебаний на крутящий момент, так как он является основным силовым фактором при нарезании резьбы метчиками.

Результаты влияния величины амплитуды колебаний и скорости резания на крутящий момент при нарезании резьбы метчиком приведены на рис. 3.

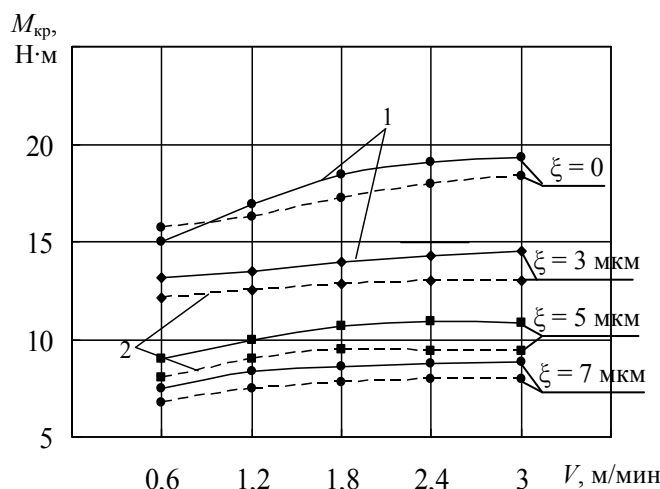


Рис. 3. Влияние V и ξ на $M_{кр}$ при обработке сплава ВТ9 метчиком М8×1,25 (ТС – сульфозреол): 1 – метчик без покрытия TiN; 2 – метчик с покрытием TiN

Из представленных данных видно, что с увеличением амплитуды колебаний до 5 мкм имеет место значительное уменьшение крутящего момента. Дальнейшее увеличение амплитуды колебаний до значений равных 7 мкм также приводит к уменьшению крутящего момента резания, однако менее значительно. Следует отметить, что при дальнейшем увеличении амплитуды колебаний наблюдался интенсивный износ режущих зубьев метчика и, соответственно, уменьшался его период стойкости.

Поэтому, дальнейшие исследования проводились при амплитуде колебаний 5 мкм. Увеличение скорости резания с 0,6 м/мин до 3 м/мин приводит к незначительному увеличению крутящего момента резания. Применение метчиков с покрытием из нитрида титана позволило также незначительно уменьшить крутящий момент резания.

На рис. 4 приведены результаты зависимости износа режущих зубьев метчика в зависимости от количества нарезанных отверстий N .

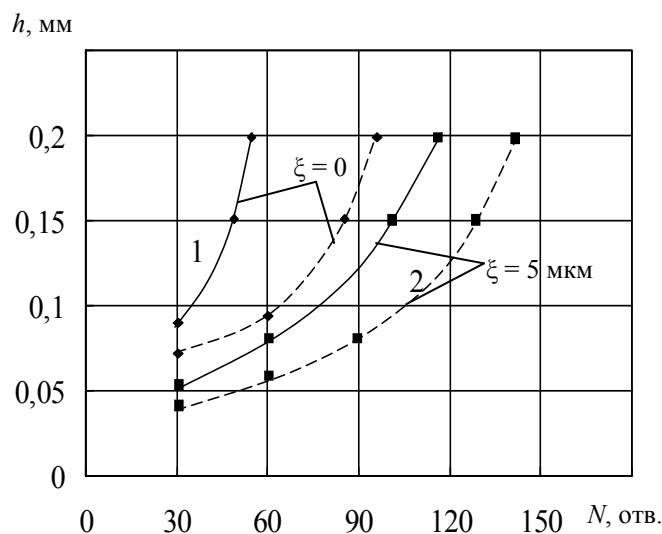


Рис. 4. Зависимость износа метчика от количества обработанных отверстий (материал ЭП678-ВД):

1 – метчик без покрытия TiN; 2 – метчик с покрытием TiN

При этом нарезалась резьба М8х1,25 со скоростью резания 1,2 м/мин, с технологической средой - касторовым маслом. Из представленных зависимостей следует, что при обработке метчиком с покрытием из нитрида титана с осевыми ультразвуковыми колебаниями период стойкости увеличивается более чем в 2 раза. Это связано с уменьшением сил резания за счет уменьшения трения на режущих и калибрующих зубьях метчика, уменьшением депланации метчика, активацией технологической среды и др.

На основании вышеизложенного можно

сделать следующие выводы. Наложение на метчик вынужденных ультразвуковых колебаний позволяет значительно уменьшить силы резания во всем диапазоне исследуемых скоростей. В свою очередь это приводит к замедлению износа режущих зубьев метчика и повышению периода стойкости, позволяя тем самым значительно повысить эффективность процесса резбонарезания. (Агапов, С.И. Повышение эффективности механической обработки путем применения ультразвука [текст] / С.И. Агапов, В.В. Головкин. – Самара: «Изд-во СНЦ», 2010. – 134 с.)

УДК 621.791.019

Н. И. Егоров, Ю. Н. Полянчиков, В. А. Солодков, О. А. Курсин, С. Ч. Као

ОХВАТЫВАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С РОЛИКАМИ ДЛЯ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОГО УПРОЧНЕНИЯ РАДИУСА ВПАДИНЫ РЕЗЬБЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: egorov_ni@mail.ru

С целью упрочнения наружной резьбы разработан охватывающий инструмент для статико-импульсной обкатки в виде резьбонакатного кольца между двумя дисками с клиновыми поверхностями, для самоподжима резьбонакатных роликов. Установлены зависимости размеров инструмента, шероховатости поверхности и энергии удара от параметров режима обкатки.

Ключевые слова: резьба, резьбонакатное кольцо, ролики, пластическая деформация, шероховатость поверхности, предел выносливости.

For reinforcements external thread designed encompassing tool for static-pulse running in the form of thread rolling ring between two disks with wedge surfaces, for camobogia of the thread rolling rollers. The dependence of tool dimensions, surface roughness and impact energy on the parameters of the run mode.

Keywords: thread, covering the ring, rollers, plastic deformation, surface roughness, the limit of endurance.

Для повышения прочности резьбы штоков поршневых компрессоров применяется статико-импульсная отделочно-упрочняющая обработка радиуса впадины резьбы пластическим деформированием [1,2]. Впадина резьбы упрочняется за счет наклепа, создающего остаточные напряжения сжатия, и снижающего шероховатость поверхности [3,4].

Разработан инструмент (рис.1) для статико-импульсной отделочно-упрочняющей обработки радиуса впадины резьбы, содержащий волновод 1, с помощью которого инструменту сообщается динамическая деформирующая сила $P_{имп}$ от генератора механических импульсов [5,6].

Ролики 4 распределены в резьбонакатном кольце 2 по винтовой поверхности с углом ψ , и шагом P резьбы. Ролики 4 установлены в радиальных овальных отверстиях 6 длиной равной припуску t . Резьбонакатное кольцо 2 установлено с возможностью вращения между дисками 7 с внутренними клиновыми поверхностями 8, с уменьшением радиуса на величину припуска и длиной по окружности равной 10 припуска t .

Заготовка 9 вращается в патроне 10 токарного станка с угловой скоростью ω . Резьбонакатное кольцо 2 получает движение продольной подачи S , равное шагу резьбы P . Свободно вращающиеся ролики 4 воздействуют на заготовку 9 с радиальной динамической деформирующей силой $P_{имп}$, получаемой от волновода 1 импульсы от генератора механических импульсов.

В процессе работы, цапфы 5 передвигаются по клиновым поверхностям 8 длиной l , на ве-

личину припуска t за счет чего происходит их самоподжатие силой $P_{см,к}$ заготовке 9.

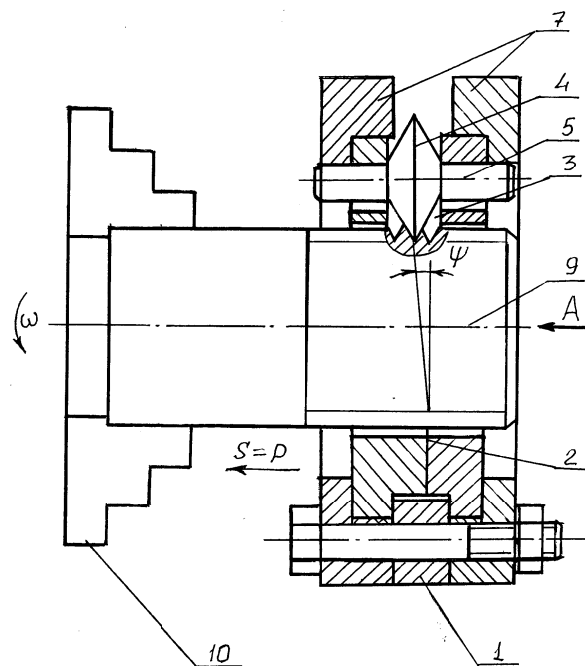


Рис. 1. Охватывающий инструмент для статико-импульсного упрочнения впадины резьбы

Необходимую длину l (рис. 2) наклонных поверхностей 8 можно рассчитать из условия самоподжима:

$$l \geq 10 \cdot t \quad (1)$$

Сопротивление вращению заготовки 9 (рис. 2) представляют силы трений F_1 ролика 4 по заготовке 9 и F_2 цапф 5 по наклонным поверхностям 8 создающие крутящий момент сопротивления:

$$M_{кр} = 3 \cdot f_k \cdot P_{см} \left(\frac{d_3}{d_p} + \frac{d_3 + d_p + d_u}{d_u} \right) \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2)$$

где f_k – коэффициент трения качения, м; d_p – диаметр ролика, м; d_u – диаметр цапф, м; $P_{см}$ – сила поджатия ролика к заготовке, формула (5).

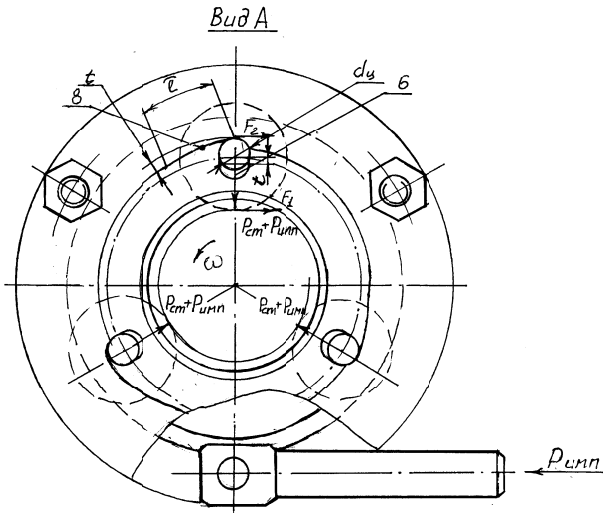


Рис. 2. Вид А охватывающего инструмента для статико-импульсного упрочнения резьбы

Мощность $N_д$, потребную для обработки, можно посчитать по формуле

$$N_д = \frac{M_{кр} \cdot n_3}{9750} \leq \eta \cdot N_{эл} \text{ кВт} \quad (3)$$

где n_3 – число оборотов заготовки мин^{-1} ; η – КПД привода станка $\eta=0,85-0,95$; $N_{эл}$ – мощность электродвигателя привода станка, кВт.

Из схемы (рис. 3) определяется зависимость высоты микронеровностей поверхности Rz после обработки от параметров режимов обработки:

$$Rz = \frac{d_p}{3} \cdot \text{Sin}^2 \frac{\gamma}{2} = \frac{d_p}{3} \cdot \text{Sin}^2 \frac{\pi \cdot n_3}{n_{имп}} \quad (4)$$

где Rz – высота микронеровностей; d_p – наружный диаметр ролика, м; γ – угол поворота заготовки за один импульс, рад; $n_{имп}$ – число (частота) импульсов, мин^{-1} ; n_3 – число оборотов заготовки мин^{-1} .

Из схемы (рис. 4) определяется зависимость усилия вдавливания и энергии удара от глубины деформации.

$$P = HB \cdot \frac{\pi^2 \cdot R \cdot d_p}{90^0} \text{arcSin} \sqrt{\frac{t \cdot (d_1 - t)}{d_p (d_p - 2t + d_1)}} \quad (5)$$

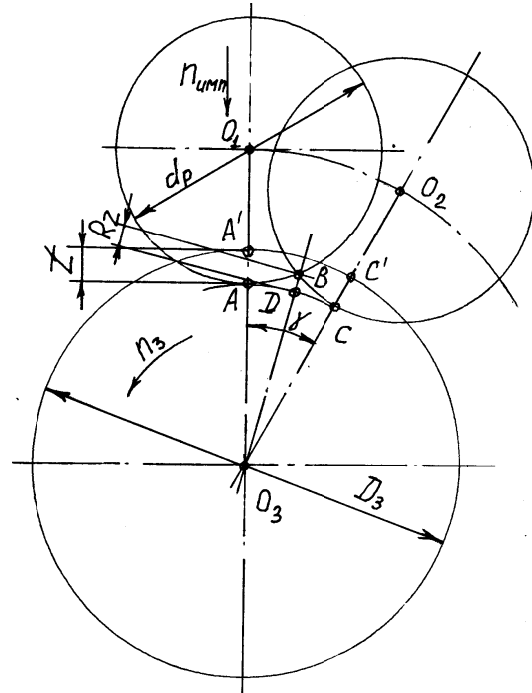


Рис. 3. Схема статико-импульсного накачивания впадины резьбы охватывающим инструментом с роликами для расчета шероховатости поверхности Rz

$$G = 3 \cdot P \cdot t = 3 \cdot HB \cdot \frac{\pi^2 \cdot R \cdot d_p \cdot t}{90^0} \times \text{arcSin} \sqrt{\frac{t \cdot (d_1 - t)}{d_p (d_p - 2t + d_1)}} \quad (6)$$

где P – усилие вдавливания, H ; G – энергия удара ролика, Дж; HB – твердость заготовки $\text{Н}/\text{м}^2$; d – наружный диаметр резьбы, м; d_1 – внутренний диаметр резьбы, м; d_3 – диаметр впадины резьбы с радиусом закругления R , м; d_p – диаметр ролика; t – глубина вдавливания; α – угол профиля резьбы; α_p – угол профиля ролика;

При испытаниях заготовку из стали 40ХНМ2А твердостью HB 226-253, резьбой $M90 \times 4$ с припуском $z=0,5\text{мм}$ закрепили в патроне токарного станка 1М63Н, мощность электродвигателя привода станка $N_{эл}=11\text{кВт}$. В резцедержателе закреплен генератор механических импульсов (отбойный молоток частотой импульсов $n_p = 4200 \text{ мин}^{-1}$ и энергии удара $G=3,1 \text{ Дж}$). Резьбонакатное кольцо с тремя роликами, диаметром 32мм и диаметром цапфы 9мм сталь ХВГ с углом профиля 55 и радиусом у вершины $R=0,58\text{мм}$. Частота вращения шпинделя станка $n=10\text{мин}^{-1}$, подача $S=4\text{мм/об}$.

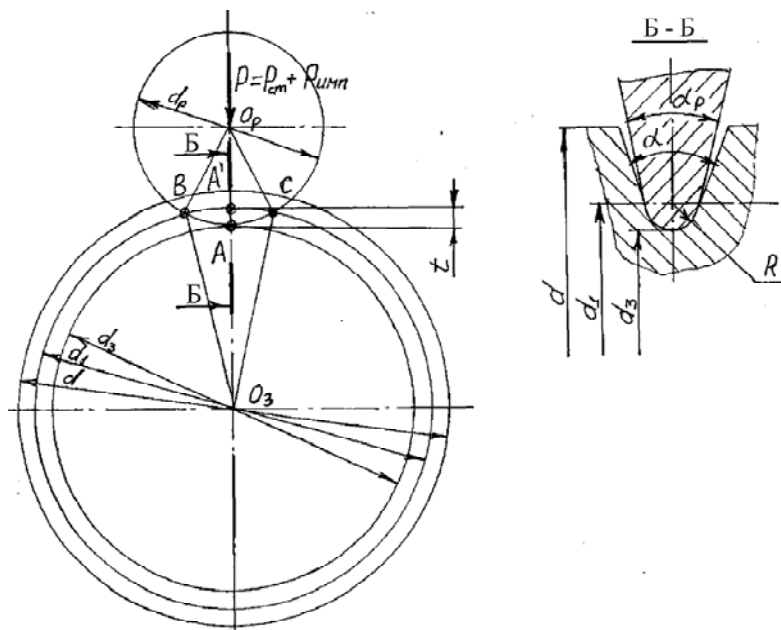


Рис. 4. Схема статико-импульсного накатывания впадины резьбы для расчета усилия и энергии деформации

Установлено, что производительность повышается в 2,5...2,8 раза. Размеры резьбы соответствуют требованиям точности 6g. Параметр шероховатости поверхности резьбы $Ra=0,2\text{мкм}$. Глубина упрочненного слоя $t=0,25\text{мм}$. Увеличение микротвердости и прочности наклепанного слоя составило в среднем 25% (рис. 5).

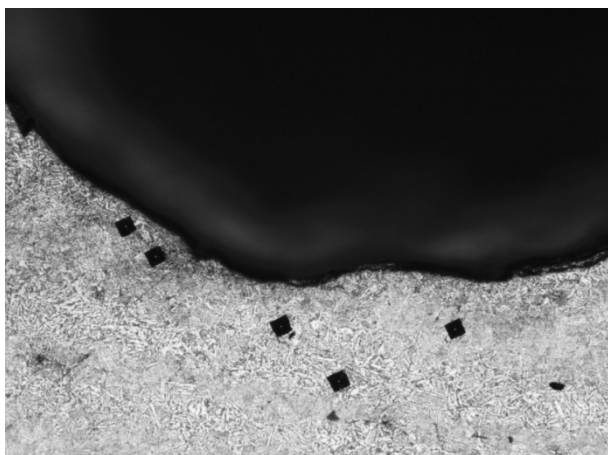


Рис. 5. Микроструктура радиуса впадины резьбы после статико-импульсного обработки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет параметров процесса обкатки вибрирующим роликом впадины резьбы / Н.И. Егоров, И.А. Небыков,

П.И. Терпак, Д.В. Моисеева // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2013. - № 20 (123). - С. 18-20.

2. Деформационное упрочнение радиуса впадины резьбы охватывающим кольцом с роликами / Н.И. Егоров, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, О.А. Курсин // Современные технологии и управление : сб. науч. тр. III междунар. науч.-практ. конф. (20-21 нояб. 2014 г.) / ФГБОУ ВО Московский гос. ун-т технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий ун-т), Филиал в р. п. Светлый Яр Волгоградской области. - Светлый Яр, 2014. - С. 161-164.

3. Исследование охватывающего кольца с роликами для упрочнений радиуса впадины резьбы / Н.И. Егоров, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, О.А. Курсин // Известия ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2014. - № 8 (135). - С. 20-22.

4. П. м. 142563 РФ, МПК В21Н3/02. Охватывающий инструмент для статико-импульсного накатывания резьбы на заготовке с предварительно нарезанной резьбой / Н.И. Егоров, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, О.А. Курсин; ВолгГТУ. - 2014.

5. П. м. 149468 РФ, МПК В21Н3/04. Охватывающий инструмент для статико-импульсного накатывания резьбы на заготовке с предварительно нарезанной резьбой / Н.И. Егоров, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, О.А. Курсин; ВолгГТУ. - 2015.

6. П. м. 151510 РФ, МПК В21Н3/02, В24В39/04. Охватывающий инструмент для статико-импульсного накатывания резьбы на заготовке с предварительно нарезанной резьбой / Н.И. Егоров, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, О.А. Курсин; ВолгГТУ. - 2015.

УДК 62.9.09

*Ю. М. Зубарев, А. И. Круглов, М. А. Афанасенков***ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ОПЕРАЦИЙ
ИОННО-ВАКУУМНОЙ МОДИФИКАЦИИ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ****Санкт-Петербургский государственный политехнический университет**

E-mail: tmioap @ zavod-vtuz.ru.

В статье приводятся основные стадии проектирования технологического процесса ионно-вакуумной модификации твердосплавного режущего инструмента, содержание операций и рекомендации по выбору характеристик необходимого оборудования.

Ключевые слова: ионно-вакуумная модификация, металлокерамические твердые сплавы, поверхностный слой и функциональный слой изделия, адгезионная прочность и термостойкость материала, композитные покрытия.

To the article the basic stages of planning of technological process of an ion-vacuum modification of hard-alloy toolpiece, maintenance of operations and recommendation on the choice of descriptions of necessary equipment, are driven.

Keywords: An ion-vacuum modification, ceramet carboloies, superficial layer and functional layer of good, adhesion strength and thermostability of material, composite coverages.

Как известно, одним из способов повышения эксплуатационных свойств инструмента из металлокерамических твердых сплавов является их обработка в вакууме с использованием энергии пучков ускоренных ионов и атомов. Этот способ, изменяющий свойства пластин твердого сплава за счет модификации их поверхности, получил название ионно-вакуумная модификация (ИВМ) [1,2,3].

При проведении операции по ИВМ инструмента, оснащенного пластинами твердых сплавов, можно выделить основные стадии технологического процесса и содержание операций ИВМ по технологическим переходам:

1. Выбор структуры поверхностного слоя, химических элементов и соединений для формирования слоев предложенной структуры. Оценка свойств функциональных слоев модифицированного поверхностного слоя.

2. Выбор базовых способов ионно-вакуумных воздействий и определение их параметров для операции ИВМ по переходам: распыление, формирование переходного слоя, нанесение функциональных слоев покрытия.

3. Составление маршрутного техпроцесса ионной обработки, исходя из операций по входному контролю, очистке поверхностей инструментов, подлежащих модификации, самой операции ИВМ и операций по контролю качества ионной обработки.

4. Составление технологической документации на операции и переходы. При обработке содержания технологической операции ионно-

вакуумной модификации инструментов следует:

- рассматривать переход «распыление поверхности» в операции ионно-вакуумной обработки не только как средство очистки поверхности в вакууме от адсорбционных газов и загрязнений и подготовки ее к нанесению покрытия, но и как один из самостоятельных способов размерной ионно-вакуумной модификации слоя. Исходя из этого, по возможности принимать толщину распыляемого слоя равной или больше толщины дефектного слоя, зависящей от предшествующих операций изготовления изделий;

- используя низкоэнергетическую ионную имплантацию, формировать переходную зону между основным материалом и покрытием, повышающую адгезионную прочность последнего;

- выбирать способ нанесения покрытия, исходя из термостойкости инструментального материала и назначение инструмента. Ограничивать предельно допускаемую температуру нагрева при ИВМ величиной на 50...100°С ниже термостойкости инструментального материала.

При этом проектировании содержания операции ИВМ надо:

Во-первых, во всех случаях первым переходом операции ИВМ должно быть распыление дефектного поверхностного слоя. Иногда этот переход называют «ионно-вакуумная очистка поверхности». Назначение этого перехода:

- получение на поверхности материала основы стехиометрии, определяемой химической формулой сплава основы;

- активизация поверхностных атомов в кристаллической решетке;

- удаление поверхностного слоя, содержащего дефекты (трещины, поры, примесные адсорбционные атомы, молекулы и др.), которые в дальнейшем могут стать зародышами (очагами) разрушения при эксплуатации инструмента.

Во-вторых, содержание второго перехода технологической операции ИВМ – создание переходного модифицированного слоя между основной и последующими подслоями покрытия. Назначение переходного слоя - плавное изменение физико-механико-химических свойств от основы к покрытию. Такой переходный слой определяет хорошую адгезию покрытия к материалу изделия. В некоторых случаях созданный на данном переходе модифицированный слой может быть внешним рабочим слоем инструмента, непосредственно контактирующим с поверхностью заготовки при ее обработке.

В-третьих, назначение последующих переходов операции ИВМ - формирование композиционного покрытия, состоящего из набора функциональных подслоев, обеспечивающих требуемые физико-химико-механические и эксплуатационные свойства изделия, такие, как твердость, пластичность, отсутствие сродства к обрабатываемому материалу, износо- и коррози-

онная стойкость, теплопрочность и др. Перечень требуемых свойств определяется в каждом конкретном случае, исходя из анализа условий работы материала и свойств заготовки, причин «потери» инструментом работоспособности, т.е. выхода его из строя.

По окончании проектирования технологической операции, необходимо приступить к выбору способа ионно-вакуумной обработки для реализации технологических переходов операции ИВМ.

В качестве способов ионно-вакуумной обработки для реализации разработанной структуры операции ИВМ рекомендуется использовать следующее. Для осуществления распыления дефектного поверхностного слоя - бомбардировку поверхности ионами инертных газов, чаще – ионами аргона. При этом следует использовать схемы ионно-плазменного и ионно-лучевого травления. Для формирования переходного слоя низкоэнергетическую ионную имплантацию с энергией ионов 20...40 КэВ. Для формирования подслоев покрытия – термоионное напыление, конденсацию в условиях ионной бомбардировки и напыление с использованием магнетронной распылительной системы. Конкретные рекомендации по выбору способов ИВО сведены в таблицу.

Способы ионно-вакуумной обработки, рекомендуемые для реализации технологических переходов операции ИВМ

Содержание перехода операции ИВМ	Особенности формы обрабатываемых поверхностей	Способ ионно-вакуумной обработки
Распыление дефектного поверхностного слоя	Поверхности простой формы (плоскости, тела вращения)	Ионно-плазменное травление по диодной схеме в атмосфере инертного газа
	Сложные фасонные поверхности	Ионно-плазменное травление по триодной схеме в атмосфере инертного газа
	Участки поверхности для селективного травления	Ионно-лучевое травление; ионно-плазменное травление по триодной схеме с применением защитных масок
	Канавки, пазы	Ионно-лучевое травление
Формирование переходного подслоя	Модифицирующие элементы – газовые ионы	Ионная имплантация с использованием высокочастотных источников газовых ионов
	Модифицирующие элементы – ионы твердых веществ, в т.ч. металлов	Термоионное осаждение покрытия с дополнительной ионизацией паров модифицирующих металлов и ускорением ионной фазы ($E > 15 \dots 20$ КэВ)
Формирование однослойного функционального покрытия	Состав покрытия – чистые металлы и соединения со стехиометрией состава материала катода	Конденсация покрытий в условиях ионной бомбардировки (метод КИБ) в атмосфере инертного газа
		Нанесение покрытия с помощью магнетронной распылительной системы (МРС) в атмосфере инертного газа
	Состав покрытия – сплавы и соединения, формируемые на обрабатываемой поверхности	Метод КИБ в атмосфере реактивного газа
		Нанесение покрытия с помощью МРС в атмосфере реактивного газа

Окончание таблицы

Содержание перехода операции ИВМ	Особенности формы обрабатываемых поверхностей	Способ ионно-вакуумной обработки
Формирование однослойного функционального покрытия	Состав подслоев покрытия - чистые металлы и соединения со стехиометрией состава материала катода	Метод КИБ с применением дополнительного катода в атмосфере инертного газа
		Нанесение покрытия с помощью МРС с секторным катодом в атмосфере инертного газа
Формирование многослойного функционального покрытия	Состав подслоев покрытия – сплавы и соединения, формируемые на обрабатываемой поверхности	Нанесение композитного покрытия с помощью МРС с секторным катодом в атмосфере реактивного газа
		Нанесение подслоев покрытия с помощью последовательного использования МРС с кальцевым или прямоугольными катодами в атмосфере реактивных газов.

Данные способы ИВМ возможно реализовать на стандартном промышленном оборудовании. Однако, достаточно часто бывает трудно выбрать стандартное промышленное оборудование, отвечающее всем требованиям универсальности. В связи с этим приходится идти на модернизацию имеющегося оборудования. При этом необходимо осуществлять правильный подбор оборудования для реализации способов ИВО поверхности инструмента, а также, если требуется, грамотную модернизацию оборудования.

Для реализации технологической операции ионно-вакуумной модификации целесообразно использовать промышленное оборудование для нанесения ионно-вакуумных покрытий. Оно должно обладать способностью реализовывать те способы обработки, которые выбраны по изложенным выше рекомендациям для осуществления технологических переходов ионно-вакуумной операции. К этому оборудованию, кроме указанных стандартных функций, следует предъявлять следующие дополнительные требования:

- локализовать тлеющий разряд на обрабатываемых поверхностях;
- обеспечить высокую скорость распыления модифицируемых поверхностей;
- обеспечить верхнюю границу абсолютной величины ускоряющего ионы напряжения не менее 12...20 КВ;

- осуществлять регулирование степени ионизации парогазового потока, идущего на обрабатываемые поверхности;
- предусмотреть возможность относительного перемещения модифицируемых изделий и источников парогазового потока.

В ы в о д ы

1. Получение качественных покрытий путем ИВМ на металлокерамических твердых сплавах, возможно при полном соблюдении всех стадий технологического процесса и содержания технологической операций и переходов.
2. Технологические рекомендации необходимо адаптировать под условия конкретного промышленного производства с учетом необходимости модернизации различных устройств для реализации способов ИВО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сенчило И.А., Зубарев Ю.М., Бабошкин А.Ф. и др. Технология обработки с использованием высокоэнергетических частиц. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2004. – 116 с.
2. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. – СПб.: Изд-во «Лань», 2014.- 304 с.
3. Зубарев Ю.М., Круглов А.И., Афанасенков М.А. Экспериментальные данные по влиянию ионно-вакуумной модификации на работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности при растачивании отверстий. Сб. науч. статей «Известия ВолгГТУ», Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 12, №21 (148), 2014. – с.14-16.

УДК 62.9.02

*Ю. М. Зубарев, А. И. Круглов, М. А. Афанасенков***ВЫБОР МОДИФИЦИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БАРЬЕРНЫХ ПОДСЛОЕВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

E-mail: tmioap@zavod-vtuz.ru

В статье рассматривается механизм влияния входящих в состав металлокерамических твердых сплавов тугоплавких соединений, воздействия модифицирующих элементов и материала этих сплавов на взаимодействие их электронных структур, основанный на анализе эволюций конфигурационной модели вещества.

Ключевые слова: ионно-вакуумная модификация, электронные конфигурации, металлокерамические твердые сплавы, тугоплавкие соединения, прочность, пластичность и твердость инструментального материала, доля стабильных конфигураций.

In article the mechanism of influence of a part ceramic-metal firm alloys of refractory connections, influences of modifying elements and a material of these alloys, on interoperability of their electronic structures, based on the analysis of evolutions of configuration model of substance is considered.

Keywords: Ionic-vacuum modification, electronic configurations, ceramic-metal firm alloys, refractory connections, strength, plasticity and hardness of an instrumental material, fraction of stable configurations.

Улучшение эксплуатационных характеристик инструментов, таких как износ и теплоустойчивость, твердость и другие, является одним из приоритетов направлений повышения ресурса работоспособности и надежности их работы, а, следовательно, повышения эффективности механообработки заготовок деталей машин.

К одним из способов повышения эксплуатационных свойств пластин из металлокерамических твердых сплавов относится обработка их в вакууме с использованием энергии пучков ускоренных ионов и атомов. Эти способы изменяют свойства пластин твердого сплава за счет модификации их поверхности. Все эти способы получили общее название - ионно-вакуумная модификация (ИВМ) [1,2].

В данной статье приводятся результаты аналитических и экспериментальных исследований, а также рекомендации по выбору модифицирующих элементов.

Для описания механизма воздействия модифицирующих элементов и материала изделия можно предложить механизм, описывающий взаимодействие их электронных структур и основанный на анализе эволюции конфигурационной модели вещества [3].

Отличаясь определенной простотой, конфигурационная модель вещества позволяет объяснить закономерности изменения свойств материалов и их сплавов при изменении содержания образующих их компонентов, а также прогнозировать свойства вещества в зависимости от их химического состава.

Для оценки физико-механических свойств материалов с помощью конфигурационной мо-

дели вещества необходимо рассмотреть структуры внешних электронных оболочек элементов, образующих материал изделия. Главным определяющим понятием конфигурационной модели является статистический вес атомов со стабильными электронными конфигурациями (СВАСК), которыми, например, для переходных металлов являются d^0 , d^5 и d^{10} , для s - и p -элементов - sp^3 и s^2p^6 . Основные физико-химические свойства материалов (прочность, пластичность) зависят от соотношения статистических весов (долей) атомов с различными стабильными конфигурациями. Легирующие элементы приводят к перераспределению СВАСКов в материале изделия, что в свою очередь, изменяет физико-механические характеристики сплава. Упрощенный механизм прохождения этих процессов можно представить в следующем виде.

Стабильные электронные конфигурации у атомов возникают в зависимости от количества внешних валентных электронов. Так, если атом в изолированном состоянии имеет один d -электрон, то велика вероятность того, что он его отдает для создания СВАСКов d^5 или d^{10} , а у ионного остова появится СВАСК d^0 . При дальнейшем рассмотрении элементов периодической системы элементов Д.И. Менделеева в данном периоде с увеличением их порядкового номера растёт количество d -электронов от одного до десяти и, соответственно, вероятность возникновения d^0 - состояния уменьшается, а возможность появления d^5 - стабильного состояния увеличивается. При числе внешних электронов больше пяти повышается вероятность образования d^{10} - стабильной конфигурации.

Входящие в состав металло - и минералоке-
рамики тугоплавкие соединения WC , TiC , TiN
 Al_2O_3 определяют их свойства. Например, со-
единение Al_2O_3 состоит из алюминия с конфи-
гурацией электронов s^2p^1 и кислорода с конфи-
гурацией. s^2p^4 . Возникающая конфигурация за
счёт перехода к кислороду электронов металла
вследствие стремления его к достройке до ста-
бильного состояния s^2p^6 определяет устойчи-
вость системы к температурным воздействиям.
Карбиды и нитриды имеют высокие СВАСКИ и
 sp^3 , а также d^5 - конфигурации за счёт вольф-
рама и титана. Этим объясняется их твердость
и хрупкость. С понижением доли sp^3 и d^5 - кон-
фигураций при учете связи - кобальта с высо-
ким СВАСК d^{10} на границах зёрен происходит
некоторое снижение прочности и твердости, но
зато повышается пластичность материала.
Кроме того, к увеличению пластичности при-
водит возрастание концентрации коллективи-
зированных d^{10} электронов, которые, обеспе-
чивая типичную металлическую связь, опреде-
ляют пластические свойства сплава.

Приведенные положения позволяют опре-
делить прочностные и пластические свойства
инструментального материала. Для достижения
цели можно использовать концепцию оценки
направления эволюции диссипативной системы
«материал изделия - модифицирующие элемен-
ты», которая базируется на предположении, что
элементы последней стремятся занять энерге-
тически выгодные положения, определяющие
общий минимум энергии системы. Именно та-
ким положением является стабильные элек-
тронные конфигурации на внешних оболочках
атомов, составляемые коллективизированными
электронами. Изменяя соотношение долей ста-
бильных электронных конфигураций, за счёт
электронов внедренных модифицирующих

элементов, можно управляет такими свойства-
ми поверхностных слоев инструментов, как
прочность, твердость и пластичность [4].

Для оценки изменения статистического веса
(доли) i -ой стабильной электронной конфи-
гурации в системе « материал основы - модифи-
цирующие элементы» по аналогии с формулой
для определения концентрации разбавленных
растворов можно использовать выражение:

$$P_x^i = \frac{m_{MO} \cdot P_{MO}^i + m_{MЭ} \cdot P_{MЭ}^i}{m_{MO} + m_{MЭ}}, \% \quad (1)$$

где P_x^i - статистический вес (доля) i -ой ста-
бильной электронной конфигурации системы
«материал основы – МЭ»; m_{MO} и $m_{MЭ}$ - атомные
веса элемента основы и модифицирующего хи-
мического элемента P_{MO}^i ; $P_{MЭ}^i$ - статистические
веса (доли) i -ой стабильной электронной кон-
фигурации элемента основы и модифицирую-
щего элементов в процентах.

На основе формулы (1) можно вывести кор-
реляционные зависимости, оценивающие влия-
ние элементов периодической системы, наибо-
лее часто применяемых для модификации по-
верхности инструментальных материалов, уве-
личение или уменьшение доли стабильных
конфигураций (в процентах) у кобальта, кото-
рый выполняет роль связи металлокерамиче-
ских твердых сплавов. Например, - доли (веса)
стабильных электронных конфигураций d^5 , от-
вечающих за прочность, у кобальта – 28 про-
центов, из всех валентных электронов. Пла-
стичность зависит от числа конфигураций d^{10} ,
которых у кобальта – 72 процента. Ниже при-
ведены зависимости, оценивающие изменение
долей конфигураций d^5 и d^{10} в процентах для
кобальта, при модификации последних рядов
элементов IV – VI групп периодической систе-
мы элементов Менделеева:

$$\begin{aligned} \Delta d_{Co}^5 = & 6,73C_{Ti} + 16,23C_v + 21,09C_{Cr} + 12,65C_{Fe} + 14,58C_{Zr} \\ & + 29,37C_{Nb} + 37,16C_{Mo} + 32,84C_{Ru} + 20,35C_{Rh} + 20,3C_{Hf} \\ & + 39,98C_{Ta} + 51,49C_W + 50,13C_{Re} + 42,75C_{Os} + 30,61C_{Ir} - \\ & (7,98C_{Ni} + 10,38C_{Cu} + 6,44C_{Pd} + 15,52C_{Ag} + 2,81C_{La}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta d_{Co}^{10} = & 7,98C_{Ni} + 10,38C_{Cu} + 6,44C_{Pd} + 15,52C_{Ag} + 13,85C_{Au} - \\ & (32,28C_{Ti} + 33,38C_v + 33,75C_{Cr} + 12,65C_{Fe} + 43,74C_{Zr} + \\ & 44,60C_{Mo} + 54,08C_{Ta} + 54,29C_W + 9,22C_{Pt}) \end{aligned} \quad (3)$$

где C_i атомная концентрация i -го модифицирующего элемента в процентах.

Увеличение долей соответствующих стабильных конфигураций указывает на повышение прочности и пластичности, уменьшение - на снижение этих свойств. Используя выражения (1) – (3), можно определить уплотнители и пластификаторы для инструментальных материалов, которые представлены в таблице.

Уплотнители и пластификаторы для твердых сплавов

Материал	Упрочнители	Пластификаторы
Твердые сплавы	Ti, V, Cr, Fe, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir	Ni, Cu, Pd, Ag, Au

По результатам выполненных аналитических и практических экспериментов можно сделать следующие выводы:

- стабильные электронные конфигурации у атомов возникают в зависимости от количества внешних валентных электронов;

- входящие в состав металлокерамических твердых сплавов соединения (WC , TiC , TiN , Al_2O_3) определяют их свойства, - твердость, хрупкость, пластичность и пр.;

- возникающая конфигурация, за счет перехода к кислороду электронов металла вследствие стремления его к достройке до стабильного состояния s^2p^6 , определяет устойчивость системы к температурным воздействиям;

- изменяя соотношение долей стабильных электронных конфигураций, за счет электронов внедренных модифицирующих элементов, можно управлять такими свойствами поверхностных слоев инструментов как прочность, твердость, пластичность и др.;

- данные рекомендации по выбору модифицирующих элементов можно использовать не только для ИВМ, а и более широко в процессах упрочнения деталей, обусловленных поверхностным легированием их материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубарев Ю.М.* Современные инструментальные материалы / Ю.М.Зубарев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2014. – 304 с.
2. *Сенчило И.А.* Технология обработки с использованием высокоэнергетических частиц / И.А.Сенчило [и др.]. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2004. – 116 с.
3. *Зубарев Ю.М.* Систематический подход к подбору имплантируемых элементов при ИВМ, пути создания алгоритма / Ю.М.Зубарев, А.И.Круглов, Д.В. Семейкин // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб.науч.ст. №7 (110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении», вып. 9). – с. 22-25.
4. *Зубарев Ю.М.* Экспериментальные данные по влиянию ионно-вакуумной модификации на работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности при растачивании отверстий / Ю.М.Зубарев, А.И. Круглов, М.А.Афанасенков // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч.ст. №21 (148)/ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении», вып. 12). – с. 14-16.

УДК 621.9.015

И. Н. Козачухненко, Д. В. Крайнев, Ю. Н. Полянчиков

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Приведен анализ обрабатываемости и было предположено положительное влияние опережающего пластического деформирования на эффективность обработки титановых сплавов.

Ключевые слова: титановые сплавы, механическая обработка, обработка резанием, опережающее пластическое деформирование (ОПД).

An analysis of the workability it has been suggested a positive effects of advanced plastic deformation (APD) on the efficiency of titanium alloys.

Keywords: titanium alloys, tooling, machining, advanced plastic deformation (APD).

Титан и его сплавы обладают ценным комплексом физико-механических свойств необходимых в современном машиностроении. Высокая прочность и небольшая удельная масса, широкий температурный интервал применения, высокая антикоррозийная стойкость титановых

сплавов позволяет им находить применение в авиационной, космической и ракетной технике и других отраслях машиностроения [1, 2].

Однако основным методом получения деталей по-прежнему остается обработка резанием. По сравнению с другими металлами, механиче-

ская обработка титана нуждается в более высоком требовании и выполняется в больших ограничениях. Так производство авиационных деталей характеризуется большими объемами снимаемого припуска (до 80 – 90% от объема заготовки), что в сочетании с низкой скоростью резания данных материалов приводит к значительным материальным затратам на механическую обработку.

Согласно исследованиям [3] процесс формирования стружки при обработке титановых сплавов определяется температурно-деформационной неустойчивостью процесса резания. Причем основным фактором неустойчивости процесса резания является температура.

Титановые сплавы отличаются высоким отношением предела текучести к временному сопротивлению разрыва. Это соотношение составляет для титановых сплавов 0,85–0,95, в то время как для сталей оно равно 0,65–0,75. В итоге при механической обработке титановых сплавов возникают большие удельные усилия, что приводит к высоким температурам в зоне резания, обусловленным низкой теплопроводностью титана и его сплавов, затрудняющей отвод тепла из зоны резания. Температура в зоне резания наиболее сильно повышается с увеличением скорости резания, в меньшей степени – с увеличением подачи. Глубина резания по сравнению со скоростью и подачей оказывает еще меньшее влияние.

На процесс пластического деформирования в зоне стружкообразования оказывает влияние состояние исходной структуры материала, определяющее закономерности деформации, и изменение структуры в процессе пластической деформации. При обработке титановых сплавов характерной особенностью является существование конкурирующих процессов деформации в зоне стружкообразования и контактируемых слоях обрабатываемого материала, ибо это возможно тогда, когда коэффициент упрочнения $\varepsilon/\dot{\varepsilon}$ уменьшается при увеличении скорости деформирования.

Наличие таких высоких температур и их колебание (доходящее до 200 °С) при резании титановых сплавов приводит к структурным превращениям, оказывающим большое влияние на процесс стружкообразования и на износ инструмента [4].

Из-за сильной адгезии и высоких температур титан налипает на режущий инструмент, что вызывает значительные силы трения. Налипание и приваривание титана на контактируемые поверхности режущего инструмента приводят также к изменению его геометрических

параметров. Отклонение геометрических параметров режущего инструмента от оптимальных их значений приводит к дальнейшему повышению усилий обработки и температуры в зоне резания и износа инструмента.

Неустойчивость процесса резания и изменение размерного износа инструмента оказывает значительное влияние на качество и шероховатость обработанной поверхности [5].

Для увеличения производительности механической обработки титановых сплавов резанием и повышения стойкости режущего инструмента применяют различные способы, в том числе: использование галлойдосодержащих смазывающе-охлаждающих жидкостей; охлаждение обрабатываемых деталей посредством обильного полива; механическую обработку титановых сплавов в нагретом состоянии; механоводородную обработку, включающую в себя наводороживание, механическую обработку и вакуумный отжиг и другие.

Среди возможных способов повышения износостойкости инструмента и обрабатываемости титановых сплавов, резание с опережающим пластическим деформированием может выступить одним из наиболее эффективных. Это наряду с достаточной простотой реализации делает целесообразным детальное исследование его аспектов. Способ совмещает в себе два приема – поверхностное пластическое деформирование (ОПД), создающее необходимые глубину и степень наклепа, и последующий сьем упрочненного металла в виде стружки [6].

Эффективность предлагаемого способа можно объяснить следующим. Создаваемая ОПД повышенная плотность дислокаций в поверхностном слое заготовки обуславливает снижение работы, совершаемой резцом, по доведению обрабатываемого материала до критического деформационно-энергетического состояния в области отделения стружки. Значит, снижается интегральная сумма напряжений, действующих в зоне первичных деформаций, и, следовательно, уменьшается вертикальная составляющая.

Снижение нагрева режущего клина, его силового нагружения, ослабление адгезионно-усталостных явлений и пагубного влияния цикличности стружкообразования обуславливает повышение стойкости инструмента.

В работах [7, 8, 9] установлено, благоприятное влияние ОПД на эффективность обработки труднообрабатываемых жаропрочных и нержавеющей сталей, по своим свойствам близких к титановым сплавам. Так применение опе-

режающего пластического деформирования приводит к снижению интенсивности износа инструмента в 1,5-2 раза за счет снижения сил резания на 10-15% и интенсивности диффузионного проникновения атомов железа в структуру твердого сплава. После резания с опережающим пластическим деформированием в поверхностном слое формируются остаточные сжимающие напряжения, что увеличивает долговечность работы деталей. Кроме того, снижается шероховатость поверхности (в 2-4 раза), что позволяет сократить число технологических переходов, а также улучшается микропрофиль поверхности (в частности, увеличивается длина опорной линии), что благоприятно сказывается на эксплуатационных характеристиках детали.

Таким образом, на основе проведенного анализа обрабатываемости титановых сплавов, а также результатах применения способа точения с опережающим пластическим деформированием при обработке коррозионно-стойких хромистых и сложнолегированных сталей можно предположить положительное влияние на эффективность обработки титановых сплавов, а также целесообразность проведения дальнейших исследований данной тематики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрибин В.А., Солонин В.И., Сосунов В.А. Авиационному двигателю 100 лет // ТВФ. 2004. № 5.
2. Хорев А.И., Хорев М.А. Титановые сплавы, их применение и перспективы развития //Материаловедение. 2005. №7. С. 25-34.
3. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания / Н. В. Талантов. Физические процессы при резании металлов: сб. науч. тр. – Волгоград, 1984. – С. 3-37.
4. Уткин Е.Ф. Исследование особенностей физических процессов при резании титановых сплавов.
5. Ротаренко О.Ю., Любомудров С.А. Исследование зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при точении титановых сплавов // Неделя науки СПбГПУ материалы научно-практической конференции с международным участием. Редакционная коллегия: М.С. Кокорин (ответственный редактор) и др.. Санкт-Петербург, 2014. С. 228-230.
6. Подураев, В. Н. Способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием / В. Н. Подураев, В. М. Ярославцев, Н. А. Ярославцева // Вестник машиностроения. 1971. № 4. С. 64-65.
7. Повышение эффективности процесса резания труднообрабатываемых коррозионно-стойких сталей при использовании опережающего пластического деформирования / Полянчиков Ю.Н., Крайнев Д.В., Ингеманссон А.Р., Нгуен Тхань Хунг // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 47-49.
8. Совершенствование полустогового и чистогого точения нержавеющей и жаропрочных сталей путем использования опережающего пластического деформирования : монография / Полянчиков Ю.Н., Крайнев Д.В., Норченко П.А., Ингеманссон А.Р.; под ред. А.П. Бабичева; ВолгГТУ. - Тольятти : ЗАО "ОНИКС", 2012. - 154 с.
9. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки. Коллективная монография. / В.Н. Беляев, В.П. Иванов, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек, Д.В. Крайнев, А.Р. Лебедев, В.А. Лебедев, С.В. Лесняк, А.В. Морозова, М.Н. Нагоркин, М.В. Песин, Ю.Н. Полянчиков, Д.Л. Соловьев, В.И. Сотников, Ю.С. Степанов, Д.Е. Тарасов, А.Н. Ткаченко, В.П. Федоров; Под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 403 с.

УДК 621.9

А. А. Липатов

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ТИТАНОСОДЕРЖАЩЕГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ОТ СТЕПЕНИ ЕГО ЗАТУПЛЕНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: leeandrej@yandex.ru

В ходе стойкостных испытаний при точении аустенитной стали титаносодержащим твердосплавным инструментом показано, что интенсивность роста площадки износа на задней поверхности инструмента по мере его изнашивания изменяется. Это объясняется плавным переходом от преобладания адгезионно-усталостного изнашивания к превалированию изнашивания диффузионного. Поэтому интенсивность изнашивания следует рассматривать как текущую, зависящую от величины площадки износа.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, титаносодержащий твердый сплав, площадка износа на задней поверхности, адгезионно-усталостный износ, диффузионный износ, текущая интенсивность изнашивания.

During wear resistant tests when turning austenitic steel titanium-containing carbide tool shown that the intensity of the growth of the wear platform on the back surface of the tool as wear changes. This is due to the smooth transition from the predominance of adhesion-fatigue wear to prevalence of diffusion wear. Therefore, the intensity of wear should be considered as current, depending on the value wear platform.

Keywords: turning, austenitic steel, titanium-containing hard alloy, wear platform on the back surface, adhesion-fatigue wear, diffusion wear, current intensity of wear.

Интенсивность изнашивания режущего инструмента обычно определяют как отношение приращения ширины площадки износа на задней поверхности инструмента Δh_3 к соответствующему приращению длины пути резания ΔL на прямолинейном участке (участке нормального изнашивания) кривой $h_3(L)$. Или, пренебрегая ускоренным изнашиванием на участке приработки, еще проще – как отношение величины критерия затупления h_{3max} к результирующему пути резания до затупления $L_{рез}$ ($J_h = h_{3max}/L_{рез}$). После этого строятся зависимости величины J_h от скорости резания v . По минимуму на кривых $J_h(v)$ определяют оптимальную скорость резания (при которой доминирование адгезионно-усталостного механизма изнашивания полностью сменяется изнашиванием диффузионным [1, 2]).

Проведенные нами стойкостные испытания показали, что при точении аустенитной стали 12X18H10T титаносодержащим твердым сплавом этот подход не вполне корректен.

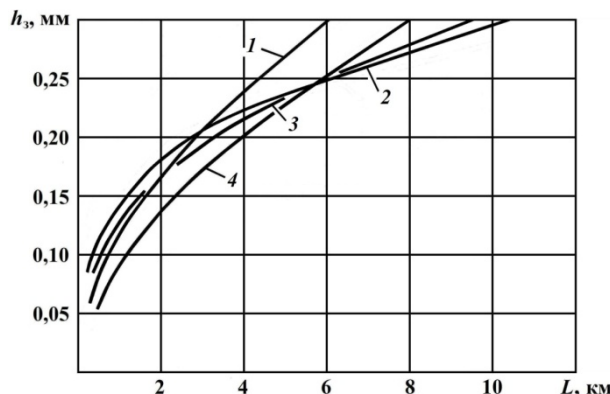
Для испытаний применялся титанотанталовый твердый сплав ТТ20К9, наиболее перспективный для обработки аустенитных сталей [3, 4]. Резание проводили со скоростями $v = 45, 60, 90$ и 120 м/мин при подаче $0,3$ мм/об и глубине $1,5$ мм до критерия затупления $h_{3max} = 0,3$ мм. Основные геометрические параметры резцов: $\gamma = 0^\circ, \alpha = 10^\circ, \phi = 45^\circ$.

Перед изложением результатов отметим, что итоговая зависимость $L_{рез}(v)$ имела ярко выраженный максимум при $v = 60$ м/мин [4]. Соответственно, зависимость $J_h(v)$ будет при этом иметь минимум, а скорость резания $v = 60$ м/мин является оптимальной. Согласно классическим представлениям (преобладающий механизм изнашивания определяется только скоростью резания), при $v = 45$ м/мин превалировал адгезионно-усталостный механизм изнашивания, а для остальных скоростей – диффузионный.

На рисунке приведены исходные стойкостные кривые – зависимости текущей величины износа h_3 от пройденного с начала обработки пути L .

Как видно из рисунка, выделить на графиках $h_3(L)$ участки приработки сложно – наклон кривых плавно изменяется вплоть до $h_3 = 0,2 \div 0,25$ мм (поэтому в [4] и были приведены зависимости $L_{рез}(v)$, а не $J_h(v)$). Необходимым становится понятие текущей интенсивности изнашивания $J_{ht} = dh_3/dL$. При малых h_3 величина J_{ht} минимальна для наибольшей скорости 120 м/мин

(кривая 4), а максимальна для $v = 60$ м/мин (кривая 2) – почему не для еще меньшей скорости 45 м/мин (кривая 1), будет объяснено ниже. При износе более $0,25$ мм интенсивность изнашивания J_{ht} гораздо выше, наоборот, для $v = 120$ м/мин – кривые $h_3(L)$ пересекаются. Как и следовало ожидать, график зависимости $h_3(L)$ для $v = 90$ м/мин (кривая 3) занимает промежуточное положение между кривыми для 60 и 120 м/мин (2 и 4).



Зависимости износа h_3 от пути резания L при точении стали 12X18H10T резцами из ТТ20К9 с различными скоростями:
 1 – $v = 45$ м/мин; 2 – $v = 60$ м/мин; 3 – $v = 90$ м/мин;
 4 – $v = 120$ м/мин

Плавное изменение наклона кривых (величины J_{ht}) по мере роста h_3 , а также их форма и взаимное расположение показывают, что возможен переход от адгезионно-усталостного изнашивания к диффузионному не только при увеличении скорости резания, но и при фиксированной v – по мере изнашивания инструмента. Это связано с увеличением контактной температуры на площадке износа при увеличении ее размера [5, 6].

Например. При обработке с $v = 120$ м/мин площадка износа сначала растет медленнее, чем при $v = 60$ м/мин – из-за большей контактной температуры и, соответственно, меньшей интенсивности адгезионных вырывов. Для критерия затупления $h_{3max} = 0,2$ мм при обработке с $v = 120$ м/мин путь резания до затупления был бы больше (см. рисунок). Однако при $v = 60$ м/мин по мере дальнейшего увеличения площадки износа температура на ней повышается, а интенсивность адгезионных вырывов уменьшается. Резец начинает работать в условиях диффузионного изнашивания, интенсивность которого при $v = 60$ м/мин существенно ниже, чем для $v = 120$ м/мин. В результате до критерия затупления $h_{3max} = 0,3$ мм резец про-

ходит большой суммарный путь резания уже при $v = 60$ м/мин.

В представленные рассуждения не вписывается расположение графика для $v = 45$ м/мин (I). Это объясняется следующим. При росте v до 45 м/мин только завершается переход к четко выраженной неустойчивости стружкообразования – мощного фактора активизации адгезионно-усталостных процессов [4]. Для скоростей 60 м/мин и выше неустойчивость является полностью оформившейся, с большей амплитудой колебаний угла сдвига [7]. Поэтому при малых h_3 (небольших температурах площадки износа) величина $J_{нт}$ для $v = 45$ м/мин не максимальна. С ростом h_3 при небольшой скорости (45 м/мин) температура площадки износа не достигает величины, обеспечивающей переход к диффузионному изнашиванию, и интенсивность $J_{нт}$ остается высокой.

Полученные результаты показывают возможность повышения эффективности механической обработки аустенитных сталей путем внедрения адаптивных систем, позволяющих изменять скорость резания в процессе работы режущего инструмента по мере его затупления по критерию минимизации текущей интенсивности изнашивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
3. Липатов, А. А. Работоспособность титанотанталовых твердых сплавов при резании труднообрабатываемых материалов / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 4 (19) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 2). – С. 33–35.
4. Липатов, А. А. Влияние неустойчивости стружкообразования и особенностей контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности твердосплавного инструмента на его изнашивание при точении аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 13 (100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8). – С. 30–34.
5. Липатов, А. А. Применение экстраполяционных и итерационных методов в инженерных теплофизических расчетах / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 11 (84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 12). – С. 26–29.
6. Липатов, А. А. Расчет температуры на площадке износа задней поверхности режущего инструмента при обработке аустенитной и перлитной сталей / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 7 (110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 34–37.
7. Липатов, А. А. Влияние характера зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры на тип стружкообразования / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 4 (30) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 49–51.

УДК 621.922

А. Б. Переладов, И. П. Камкин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Курганский государственный университет

E-mail: tp@kgsu.ru

Проведенные исследования направлены на совершенствование расчетных методик проектирования процесса шлифования. В статье изложены результаты исследования процесса массового микрорезания абразивными зёрнами материала заготовки при шлифовании. Описаны используемые компьютерные статистико-вероятностные модели рабочей поверхности шлифовального круга и ее кинематического взаимодействия с обрабатываемой поверхностью, которые позволили определить статистические показатели распределения параметров срезов (площади, длины режущих кромок) активными абразивными зёрнами. С учетом вклада зёрен в удаление припуска заготовки рассчитывались действующие на них со стороны обрабатываемого материала силы. Получена статистика распределения сил резания единичными зёрнами для конкретных условий шлифования. Использование данных о прочности удержания абразивных зёрен на рабочей поверхности инструмента позволило разработать статистико-вероятностную модель процесса шлифования, с использованием которой можно прогнозировать режим (скорость) изнашивания круга. Результаты исследований используются в разрабатываемой методике определения оптимальных режимов обработки и статических характеристик инструмента.

Ключевые слова: процесс шлифования, силы резания, прочность удержания, компьютерная модель, шлифовальный круг, рабочая поверхность.

Abstract. Conducted research aimed at improving computational techniques for design of grinding process. In article results of research of the mass micro cutting process by abrasive grains of the workpiece material while grinding. Described used computer statistical and probabilistic models of the working surface of the grinding wheel and its kinematic interaction with the surface, which allowed us to determine the statistical parameters of the distribution parameters of sections (area, length of the cutting edges) of active abrasive grains. With contributions from grains in the chip, the workpiece was calculated from acting on them from the side of the processed material strength. The resulting statistics of the distribution of cutting forces of single grains for a specific grinding task. Using data about the strength retention of abrasive grains on the working surface of the tool allowed the development of statistical and probabilistic model of the grinding process, using which you can predict the mode (speed) of the wear of the circle. The research results are used in developing the methodology for the determination of optimum modes of processing and the static characteristics of instrument.

Keywords: grinding process, the cutting force, strength retention, computer model, the grinding wheel, the working surface

Дальнейшее снижение затрат на обработку шлифованием, обеспечение требуемого качества полученной поверхности, относится к наиболее актуальным задачам промышленности. Полная реализация потенциальных возможностей метода шлифования зависит от правильного назначения статических характеристик инструмента и режима обработки. Однако, широко используемые сегодня общие рекомендации и справочные таблицы, разработанные на основе опытных данных, не позволяют точно определять оптимальные характеристики абразивного инструмента и режим его работы с учетом многих значимых факторов и ограничений, обеспечивающие заданные производительность и другие показатели процесса обработки.

Использование расчетных методов проектирования, как наиболее точных, сегодня особенно актуально, в первую очередь, для автоматизированного производства, в котором постоянно изменяется номенклатура выпускаемых деталей, используются новые труднообрабатываемые материалы. Поэтому очевидно, что применение современных средств проектирования шлифовальных операций является значительным резервом дальнейшего повышения эффективности металлообработки и качества выпускаемой продукции. Однако, универсальные расчетные методы в шлифовании сегодня практически не применяются по причине отсутствия адекватных многофакторных математических моделей процесса обработки. Следовательно, получение новых научных данных о процессе шлифования, закономерностях изменения его показателей с использованием современных методик компьютерного моделирования и технического оснащения исследований сегодня по-прежнему являются приоритетными направлениями проводимых научных изысканий.

Известно, что рабочая поверхность круга состоит из вершин абразивных зерен, располо-

женных в случайном порядке. Она не имеет сплошной режущей поверхности. Поэтому процесс шлифования носит дискретный характер. Глубина рабочего слоя определяется глубиной залегания вершин режущих (активных) зерен, которые срезают стружку или деформируют материал заготовки. Глубина рабочего слоя величина не постоянная и зависит от режима и схемы шлифования, характеристик инструмента. Однако, известные данные о глубине рабочего слоя инструмента, числе активных (режущих) зернах и параметрах срезаемых ими стружек неоднозначны, хотя они в значительной степени определяют режим изнашивания абразивного инструмента.

Выбор твердости шлифовального инструмента в значительной степени определяет производительность и качество обработки, скорость его изнашивания. Абразивные зерна по мере их затупления должны обновляться путем вырывания из связи (в большинстве случаев это доминирующий фактор изнашивания), скалывания и выкрашивания. Таким образом осуществляется самозатачивание инструмента. При слишком твердом круге связь продолжает удерживать затупившиеся и потерявшие режущую способность зерна. В мягком круге зерна, не утратившие свою режущую способность, могут вырываться раньше времени, круг при этом быстро теряет правильную форму, увеличивается его износ, в результате чего становится трудно получать детали необходимой точности. Из-за ускоренного неравномерного износа круга в процессе обработки часто появляется вибрация в процессе шлифования, что требует более частой правки круга для восстановления его первоначальной геометрической формы.

Таким образом, твердость абразивного инструмента является оптимальной, когда она соответствует режиму обработки и другим усло-

виям шлифования, обеспечивает достижение требуемых показателей, в том числе, и скорость изнашивания круга.

На различных операциях инструмент работает на разных режимах изнашивания: осыпание, самозатачивание, затупление, которые, в конечном счете определяют скорость его изнашивания. Например, режим осыпания предпочтителен на операциях обдирочного и черного шлифования, которые обычно осуществляются с высокой производительностью, что приводит к интенсивному затуплению зерен и необходимости их быстрого обновления. Самозатачивание инструмента позволяет обеспечить его высокую стойкость при выполнении операций, обеспечивающих эффективное снятие припуска, формирующих необходимые размеры и другие показатели поверхности детали. Режим затупления инструмента предпочтителен при выполнении отделочных операций и / или для обеспечения точности и низкой шероховатости.

Для получения расчетных зависимостей, позволяющих прогнозировать режим изнашивания инструмента, необходимы дополнительные исследования, результаты которых лягут в основу методики для определения соответствия сил, действующих на активные зерна со стороны обрабатываемого материала, и прочности их удержания на рабочей поверхности инструмента.

Сложность создания подобных методик заключается в необходимости использования адекватных статистических моделей процесса обработки и структуры абразивного инструмента, созданных с использованием достоверных данных. В настоящее время многие современные исследователи уходят от широко используемых детерминированных моделей и применяют статистические методы анализа, вывод о необходимости использования которых был сделан многими известными исследователями [1,2,3 и другие]. Данный вывод обоснован и объясняется случайным расположением вершин абразивных зерен в рабочем слое, что предопределяет стохастическую природу процесса обработки. Например, использование статистико-вероятностных моделей при изучении показателей микровзаимодействия вершин зерен с поверхностью заготовки [1] позволил сделать значительный шаг к разрешению существующей неопределенности - степени перекрытия зернами друг другом в процессе срезания ими припуска (рис. 1), необходимость разрешения которой была сформулирована еще в начале

прошлого века Дж. Элденом, и определить, с учетом сделанных допущений, характер статистического распределения геометрических параметров поперечных сечений срезаемых стружек. Полученные статистические данные о сечениях стружек учитывают случайный характер расположения зерен на поверхности инструмента, однако ряд использованных автором в разработанной модели существенных допущений не позволяют считать ее достаточно адекватной.

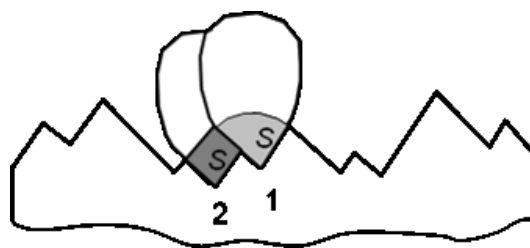


Рис. 1. Схема перекрытия зерном 1 позади идущего зерна 2 (вектор скорости резания направлен к нам перпендикулярно плоскости рисунка)

Требует дополнительного исследования и структура абразивного инструмента в плане определения числа мостиков связки и их геометрических параметров, которые необходимы для расчета прочности удержания зерен. Большинство известных моделей, использованных в исследованиях дисперсных систем, к которым относится и структура абразивного инструмента, также, в своем большинстве, являются детерминированными, имеют регулярное строение составляющих ее элементов равных размеров, что не соответствует реальности. Логично предположить, что имеющиеся различия размеров и форм абразивных зерен в инструменте приводит к формированию неоднородной структуры и, как следствие, различной прочности закрепления зерен.

Поэтому, знание реальных статистик распределения сил резания зернами и прочности их закрепления на рабочей поверхности шлифовального круга, позволит оценить вероятность удаления (вырыва) зерен и, следовательно, скорость изнашивания инструмента, имеющего конкретные характеристики и работающего с определенными режимами шлифования.

Для оценки сил шлифования и прочности удержания абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга на кафедре автоматизации производственных процессов Курганского госуниверситета были проведены исследования с применением разработанных

компьютерных вероятностных моделей рабочей поверхности инструмента и процесса шлифования.

Модель рабочей поверхности инструмента была создана с использованием результатов проведенного физического эксперимента [4], который заключался в прокатывании шлифовального круга по алюминиевой ленте.

С использованием полученных статистических данных о распределении вершин зерен на рабочей поверхности инструмента, было осуществлено ее компьютерное моделирование. Координаты вершин зерен на поверхности и высоте рабочего слоя шлифовального круга (рис. 2), определялись с использованием генератора случайных чисел (метод Монте-Карло) [5]. Плотность расположения зерен задавалась с учетом размера, глубины рабочего слоя, степени твердости и номера структуры инструмента. Форма вершин зерен задавалась в виде конуса с углом при вершине 160° [1].

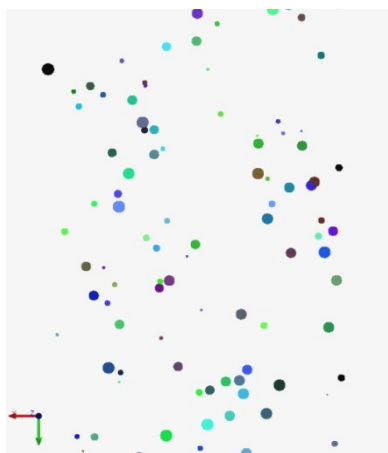


Рис. 2. Участок модели развертки рабочей поверхности круга (вид сверху) с распределенными вершинами конусов (глубина модели рабочего слоя 20 мкм)

Компьютерное моделирование рабочей поверхности инструмента и процесса шлифования осуществлялось в технологической САПР T-Flex CAD 12.

В ходе моделирования кинематики взаимодействия вершин зерен с обрабатываемой поверхностью в процессе шлифования, их профиль проецировался на условную плоскость по окончании резания в момент выхода из контакта с заготовкой [6]. В результате получали универсум изображений проекций вершин режущих зерен, который позволял определять формы и максимальные сечения срезаемых стружек с учетом степени взаимного перекрытия режущих зерен друг другом (рис. 3).

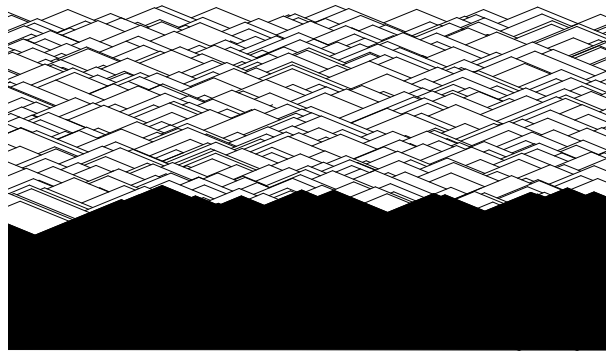


Рис. 3. Пример универсума изображений максимальных поперечных сечений срезаемых стружек (схема плоского врезного шлифования периферией круга прямого профиля), полученных моделированием процесса шлифования

Результаты моделирования процесса шлифования были использованы при создании графической статистико-вероятностной модели режима изнашивания инструмента. Модель позволяет прогнозировать или обеспечить тот или иной режим изнашивания с учетом статических показателей структуры шлифовального круга, в комплексе определяющих прочность удержания зерен P_{y0} на рабочей поверхности инструмента [7]. Силы резания, действующие на активные зерна со стороны обрабатываемого материала, рассчитывались с учетом параметров сечения срезаемых зернами стружек и физико-механических свойств шлифуемого материала. Для расчета сил резания на единичных зернах использовались параметры срезов и математические зависимости Е.П. Калинина [8]:

$$P_z' = \sigma_B \cdot (28,5 \cdot az \cdot du + 0,13 \cdot du^2) \quad (1)$$

$$P_y' = \sigma_B \cdot (34 \cdot az \cdot du + 0,84 \cdot du^2), \quad (2)$$

где P_z' – тангенциальная составляющая силы резания, P_y' – нормальная составляющая силы резания, σ_B – предел прочности материала заготовки при растяжении, az – средняя высота среза зерном, h – диаметр площадки износа.

Вследствие различий в используемых моделях формы вершин зерен, размер h для расчета сил определялся путем умножения общей длины режущих кромок каждого зерна на значение $\cos(10^{\circ})$. Толщина срезаемой стружки az вычислялась как соотношение определенной моделирующей программой площади сечения срезаемой стружки и размера h .

Графическая интерпретация модели режима изнашивания представлена на рис. 4. На нем приведены гистограммы статистических распределений сил резания, действующих на зерна (слева) и прочности удержания зерен (справа),

построенные в соответствии с результатами моделирования для конкретных режимов обработки и характеристик шлифовального круга (операция круглого шлифования бочки прокатного валка; круг: $1\ 900 * 100 * 305$, $24A\ F40\ G\ 6\ V\ 50m/s\ AA1$; валок: сталь $65X5M\Phi C$, твердость стали $HSD\ 96$ ($\sigma_s = 2000\ МПа$); глубина шлифования $t = 0,005-0,05\ мм.$; круговая подача валка $S_k=40\ м/мин$). Объемы распределений

(число событий) $P_{рез}$ и $P_{уд}$ равны. Гистограммы распределения $P_{уд}$ прочности строились с учетом параметров структуры инструмента: координационного числа - числа контактов зерен с соседними, диаметров соединяющих их мостиков связки, прочности материала связки, положения мостиков связки по отношению к вектору силы резания, зернистости [7].

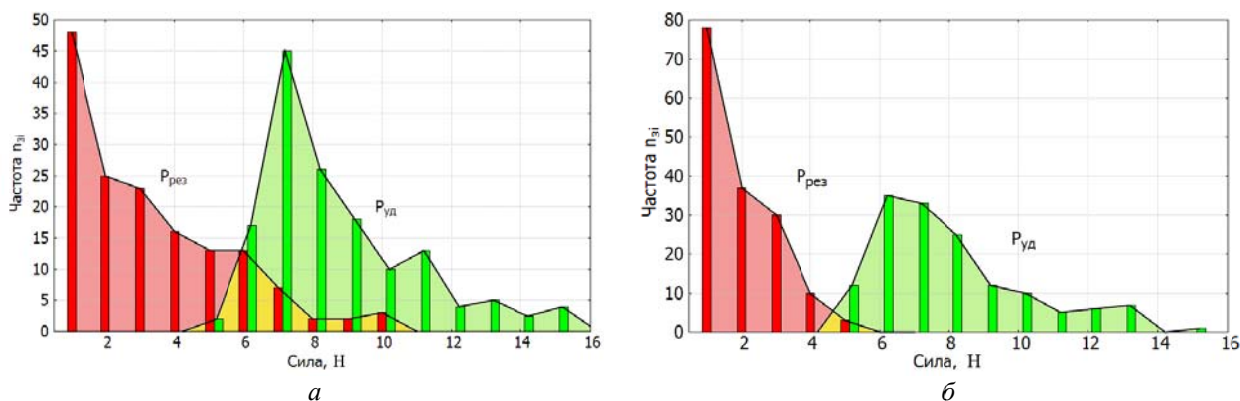


Рис. 4. Статистико-вероятностная модель режима изнашивания инструмента:
а – осыпание ($t=0,050\ мм$, $\xi > 0,05$); б – самозатачивание ($t=0,010\ мм$, $\xi = 0,05$)

Анализ изображений статистик позволяет определить величину их взаимного наложения (пересечения), которая отражает вероятность наступления события $P_p > P_{уд}$, приводящего к вырыванию зерна с поверхности инструмента. В соответствии с известными данными, при работе шлифовального круга на керамической связке в режиме самозатачивания, абразивное зерно, до своего затупления, осуществляет резание в среднем около 20 раз после чего удаляется под действием возросших сил резания, превышающих прочность его удержания [9]. Другими словами, существует 5% процентная вероятность, что при резании зерном обрабатываемого материала наступления события $P_p > P_{уд}$ (рис. 4, б). После удаления затупленного зерна в работу вступает новое, ранее перекрытое зерно, что обеспечит поддержание режущей способности инструмента на постоянном уровне.

В случае возрастания интенсивности обработки и/или использовании инструмента с меньшей степенью твердости, степень взаимного перекрытия статистик будет увеличиваться (будет возрастать вероятность события $P_p > P_{уд}$), что приведет к повышенному осыпанию шлифовального круга.

Соответственно, на чистовых режимах шлифования, при достаточно твердом инструменте будет выполняться неравенство $P_p < P_{уд}$, то

есть силы, действующие на зерна всегда будут меньше прочности их удержания, что обеспечит работу шлифовального круга в режиме затупления.

Вероятность удаления зерна ξ , можно определить по выражению, полученному с использованием графической модели:

$$\xi = Sp_p P_{уд} / Sp_{уд}$$

где $Sp_p P_{уд}$ – площадь пересечения статистик распределений P_p и $P_{уд}$; $Sp_{уд}$ – площадь распределения статистики $P_{уд}$.

На основе результатов изучения параметров статистического распределения величин P_p и $P_{уд}$ получена зависимость для определения ξ с использованием их средних значений:

$$\xi = \frac{\bar{P}_p}{P_{уд}} - 0,22$$

Таким образом, задавая значения параметра ξ , изменением режима обработки и статических характеристик инструмента, можно добиться требуемого режима изнашивания шлифовального круга в процессе его работы: осыпание ($\xi > 0,05$), самозатачивание ($\xi = 0,05$), экономное самозатачивание ($\xi < 0,05$) и затупление ($\xi = 0$).

Разработанная статистико-вероятностная силовая модель режима изнашивания инструмента положена в основу созданной системы

автоматизированного проектирования режимно-инструментального оснащения операций шлифования «Шлифдизайн» [10].

Исследования выполнялись по контракту с федеральным государственным бюджетным учреждением "Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" (Фонд содействия инновациям).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байкалов, А.К. Введение в теорию шлифования материалов Киев, Наукова думка, 1978, 208 с.
2. Malkin S., Guo Ch. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives. New York, Industrial Press Inc., 2008, 372 p.
3. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. М., Машиностроение, 1974, 320 с.
4. Переладов А. Б., Камкин И. П., Анохин А. В. Исследование статистико-вероятностных характеристик рабочей поверхности шлифовального круга // Известия высших учебных заведений. "Машиностроение" № 3. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. - 2014. -С. 67-71.

5. Переладов А. Б., Камкин И. П. Вероятностная компьютерная модель рабочего слоя шлифовального круга // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. №20 (123) .- Серия«Прогрессивные технологии в машиностроении» вып. 10 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – С. 49-52

6. Переладов А.Б., Камкин И.П., Кожевников И. В., Анохин А. В. Определение интегральных показателей кинематического взаимодействия шлифовального круга с заготовкой. Металлообработка № 5-6 (77-78) . - СПб.: ОАО «Издательство «Политехника», 2013 . - С. 28-34

7. Переладов А. Б., Камкин И. П., Анохин А. В. Изучение дисперсной системы структуры абразивного инструмента со сложным зерновым составом // Известия высших учебных заведений. "Машиностроение" № 10. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2013. - С. 48-52.

8. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью абразивной обработки с учетом затупления инструмента. Автореферат дисс. док. техн. наук, СПб., 2006.

9. Худобин, Л. В., Бердичевский, Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке: справочное пособие, М., Машиностроение, 1977, 188 с
10. <http://shlif.jaguarsoft.ru/>

УДК 621.822.01.5: 621.431

А. В. Петрухин¹, В. А. Санинский²

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ САПР ПРИ ВИРТУАЛЬНОЙ СБОРКЕ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ МНОГООПОРНОГО ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ДВС

¹Волгоградский государственный технический университет,
²Волжский политехнический институт, филиал ВолгГТУ

E-mail: techmash@vstu.ru

Рассмотрены основные алгоритмы автоматизированного подбора коренных опор картера, вкладышей коренных подшипников и коренных шеек коленчатого вала тяжелого дизеля, используемые в процессе достижения оптимальных зазоров в соосных парах трения многоопорного узла при компьютерной поддержке.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование (САПР), достижение, оптимальных зазоров, пары трения, вкладыши подшипников скольжения, управление процессом сборки.

The basic algorithms of the automated selection of radical support of a case, loose leaves of radical bearings and radical necks of a cranked shaft of the heavy diesel engine, used in the course of achievement of optimum backlashes in coaxial steams of a friction of multibasic knot of support of shaft with computer support are presented.

Keywords: computer-aided design (CAD), optimum backlashes, friction, bearings, management of assemblage process.

Данная работа посвящена вопросам автоматизации таких проектных процедур, как компьютерный подбор комплектующих деталей многоопорных подшипниковых узлов для использования в контексте задач системы автоматизированного проектирования ДВС [1], учитывающий влияние допусков звеньев размерных цепей соосных подшипников скольжения на параметры масляного слоя соосных подшипников скольжения [2]. При построении средств автоматизации процессов сборки комплектующих

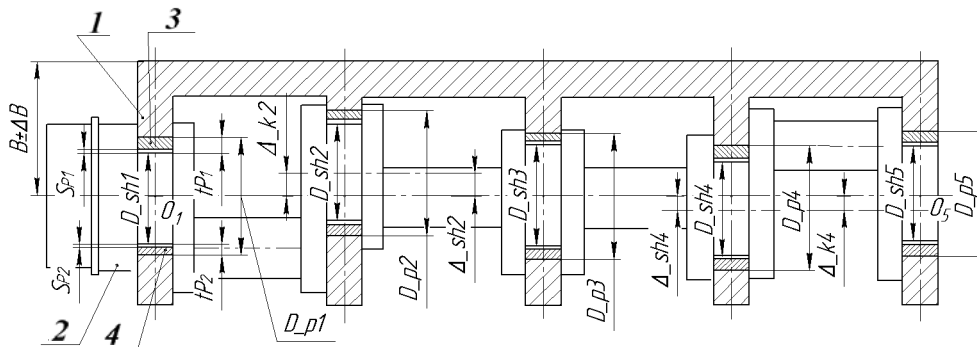
деталей многоопорных подшипниковых узлов ДВС могут использоваться как различные подходы, входящие в арсенал базовых средств компьютеризации технологического обеспечения производства, так и средства автоматизации формальных и неформальных процедур в других предметных областях, используемые в контексте междисциплинарной конвергенции. Показано, что применение элементов САПР [3, 4, 9] в технологии машиностроения позволяет эффективно автоматизировать процесс подбора ком-

плектующих деталей и оптимизировать диаметральные зазоры в соосных парах трения многопорного узла поддержки валов (МУПВ) [5].

Создание условий технологического обеспечения процесса селективной сборки МУПВ позволяет организовать диаметральные зазоры в пределах от минимального функционального зазора $S_{\min F}$ до оптимального $S_{\text{opt}F}$. Соответственно будут обеспечены пределы минимальной h_{\min} и оптимальной h_{opt} толщин масляного слоя в парах трения, а также наибольшие коэффици-

енты запаса на износ S_n и работоспособности K_T путем компенсации действительных погрешностей их после механической обработки путем индивидуальной компьютерной сборки.

Для реализации поставленной задачи была разработана система обозначений допусков и посадок на поверхности контакта деталей МУПВ, используемая при автоматизированном подборе его комплектующих: диаметров коренных опор картера, шеек коленчатых валов и толщин вкладышей подшипников скольжения.



Расчетная схема продольного сечения пяти опорного МУПВ дизеля с нанесенными обозначениями полей компенсирующих значений погрешностей продольного сечения картера и коленчатого вала без вкладышей: 1 – картер; 2 – коренная опора картера; 3, 4 – верхний и нижний вкладыши подшипника скольжения, соответственно; 5 – коленчатый вал tp_1 , tp_2 – рабочие зазоры выше и ниже оси O_1 – O_5 соответственно; Sp_1 – радиальный зазор выше оси O_1 – O_5 , Sp_2 – радиальный зазор ниже оси O_1 – O_5

По новой технологии для реализации технологии подбора комплектующих деталей требуется результаты измерений размеров поверхностей контакта деталей узла, выполняемых на контрольной операциях занести в базу данных ЭВМ и использовать их при подборе.

При этом отбирают из базы данных верхний и нижний вкладыши так, чтобы их объемы заполняли рабочий зазор tP между поверхностью каждой коренной опоры и коренной шейки с образованием минимального оптимального технологического зазора (расчетные зазоры S_i , выполненные по рекомендациям фирмы «Глико», лежат в пределах $(0,0008 \div 0,01) d = 0,088 \div 11$ мм).

Для осуществления автоматизированного подбора вкладышей для компенсации погрешностей коренных опор картера (рис. 1) предложена математическая модель, в которой принято считать $S_i + D = tP_i$, где D – переменный параметр действительных толщин верхнего $t_{\text{вк.в}}$ или нижнего $t_{\text{вк.н}}$ вкладышей, причем в автоматизированной системе толщины верхних и нижних вкладышей входят в одну базу данных.

Используется алгоритм создания баз данных [7,8] для последующего подбора размеров для геометрической модели, показанной на рис. 1.

Для реализации автоматизированного под-

бора действительных размеров комплектующих деталей МУПВ произведем замену стандартных символов несоосностей коренных опор и коренных шеек на символы, применяемые в программе ЭВМ: $\Delta_{sh_2} = \Delta_{\text{н.с. 2}}$, $\Delta_{sh_3} = \Delta_{\text{н.с. 3}}$, $\Delta_{sh_4} = \Delta_{\text{н.с. 4}}$; Δ_{sh_2} , Δ_{sh_3} , Δ_{sh_4} – новые символы несоосности 2-й, 3-й, 4-й коренных постелей картера; $\Delta_{k_2} = \Delta_{\text{н.с. к. ш 2}}$, $\Delta_{k_3} = \Delta_{\text{н.с. к. ш 3}}$, $\Delta_{k_4} = \Delta_{\text{н.с. к. ш 4}}$ – несоосность 2-й, 3-й, 4-й коренных шеек относительно общей оси O_1 – O_5 ; Δ_{k_2} , Δ_{k_3} , Δ_{k_4} новые символы несоосности 2-й, 3-й, 4-й коренных шеек коленчатого вала (не показан, см. [7,8,12]). Нижние индексы 2, 3, 4 обозначают принадлежность погрешностей к комплектующим деталям, собираемыми с постелями 2, 3, 4 и шейками 2, 3, 4, имеющими центры O_2 , O_3 , O_4 , соответственно, табл.; tp_1 , tp_2 – рабочие радиальные зазоры выше и ниже оси O_1 – O_5 соответственно, Sp_1 – радиальный зазор выше оси O_1 – O_5 , Sp_2 – радиальный зазор ниже оси O_1 – O_5 (рис. 1) [7].

Далее, в соответствии с алгоритмами работы подсистемы моделирования, рассмотренными более подробно в статьях [8,10,11,12], осуществляется автоматизированный расчет зазоров и осуществляется перебор размеров поверхностей контакта деталей из БД, до получения

комплекта деталей, дающих при их сборке наиболее близкий к оптимальному значению зазор в каждой опоре.

Технико-экономическую эффективность создания и применения разработанной системы подбора комплектующих деталей МУПВ для различных методов обеспечения зазоров в парах трения можно оценить по расчетным величинам запасов на износ $S_{\text{imax-min}}$, точности K_T и отношению коэффициентов запаса точности $K_{\text{им}}$ и запаса на износ для многоопорного узла при групповой сборке [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санинский, В. А. Дестабилизация параметров масляного клина соосных подшипников скольжения // Автомобильная промышленность. 2006. № 3. С. 14 – 16.
2. Меньшенин, Г. Г., Санинский, В. А. Влияние допусков звеньев размерных цепей соосных подшипников скольжения на параметры масляного слоя соосных подшипников скольжения // Технология машиностроения, 2009. №6. с. 24-32.
3. Петрухин, А. В. Использование физических знаний при решении задач концептуального проектирования технических объектов / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, В. А. Камаев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1997, № 1-3, с. 29-33.
4. Петрухин, А. В. Архитектура автоматизированной системы концептуального проектирования технических объектов и технологий с использованием структурированного описания физической информации (СОФИ) для сетевых приложений / А. В. Петрухин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1998. № 4-6. С. 52-56.
5. Санинский В. А. Автоматизация процесса подбора диаметальной компенсации механической обработки соосных отверстий в многоопорном узле дизельного двигателя разнотолщинойностью вкладышей / В. А. Санинский, А. В. Петрухин, Н. П. Москвичева // Технология машиностроения. 2007. № 7. С.65-69.
6. Санинский В. А. Методология повышения запаса точности коренных подшипников скольжения дизелей размерной механической обработкой и компьютерной сборкой // Волгоград. ВолгГТУ, 2008.- 237 с. Деп. в ВИНТИ 30. 09. 08 № 793-В2008.
7. Санинский В. А., Петрухин А. В., Москвичева Н. П., Кольшиев О. Ю. патент на изобретение RUS 2469219 05.04.2011 на изобретение «Способ комплектования многоопорного узла поддержки коленчатого вала».
8. Петрухин, А. В. Автоматизированный подбор комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипникового узла ДВС / А. В. Петрухин, В. А. Санинский, Н. П. Москвичева, М. В. Кочкин. Вестник машиностроения. 2014. № 4 С. 48-51.
9. Петрухин, А. В. Принятие технологических решений в литейном производстве с использованием интегрированной экспертной системы / А. В. Петрухин, В. К. Агеев, Ю. Ф. Воронин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2004. №.5. С. 64–65.
10. Петрухин, А. В. Компьютерная поддержка автоматизированного подбора комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипникового узла ДВС / А. В. Петрухин А. В., Н. П. Москвичева, В. А. Санинский, Н. А. Сторчак, М. В. Кочкин. // Автомобильная промышленность. 2011. № 3. С. 30-33.
11. Петрухин, А. В. Система автоматизированного подбора комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипникового узла ДВС / А. В. Петрухин, В. А. Санинский, Н. П. Москвичева, М. В. Кочкин. // Технология машиностроения. 2011. № 3. С. 21-24.
12. Petrukhin A. V., Saninskii V. A., Moskvicheva N. P., Kochkin M. V. Automated selection of components in bearing assembly for diesel engines // Russian Engineering Research. 2015. T. 35. № 7. С. 500-504.

УДК 519.8

Г. В. Ханов, Е. А. Горшенев

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗА ВНУТРИ ПОЛУЗАМКНУТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБЪЕМА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: gkhanov@mail.ru

При разработке механизмов с протекающими в них газодинамическими процессами возникает вопрос выбора метода определения параметров газов, которые в конечном счете во многом определяют конструкцию механизма. Авторами с приведением примера предлагается при решении газодинамических задач применять метод крупных частиц, который достаточно прост, дает неплохие результаты и обладает хорошей сходимостью по сравнению с другими численными методами.

Ключевые слова: математическая модель, численные методы, метод крупных частиц.

When developing mechanisms with the gasdynamic processes proceeding in them there is a question of a choice of a method of determination of parameters of gases which, eventually, in many respects define a mechanism design. Authors with reduction of an example offer at the solution of gasdynamic tasks to apply a method of large particles which is rather simple, yields quite good results and possesses good convergence in comparison with other numerical methods.

Keywords: mathematical model, numerical methods, method of large particles.

Множество численных методов, порой конкурирующих между собой, ставит перед исследователем задачу выбора метода для исследования газодинамического процесса, а также углубленных знаний в газовой динамике и практического опыта в применении численных методов. Прежде чем начинать решение сложных газодинамических задач, необходимо, в первую очередь, достигнуть достоверности численного решения задачи и, по возможности, сравнить с уже существующими результатами. Для этой цели лучше всего подходит решение задачи истечения из полужамкнутого цилиндрического объема, которая применяется для расчета многих газодинамических устройств. Выделим наиболее распространенные численные методы для решения поставленной задачи.

Наиболее развит и широко используется в последнее время, для решения уравнений в частных производных, метод сеток или метод конечных разностей. Метод наиболее универсален для численного моделирования. Область интегрирования здесь разбивается на счетные ячейки с помощью, некоторой, как правило, прямоугольной фиксированной сетки [1]. При этом непрерывная среда заменяется некоторой дискретной моделью, а дифференциальные уравнения, описывающие исходную задачу, конечной системой алгебраических соотношений (разностной схемой). Для каждого уравнения в частных производных существует множество его конечно-разностных аналогов, из которых нельзя выбрать наилучший со всех точек зрения. В первую очередь надо стремиться к правильной аппроксимации уравнений, а во вторую очередь выбрать «наилучшую схему», т. е. оптимизировать ее, учитывая ее точность, экономичность, удобство программной реализации на ЭВМ и т. д. Особого внимания заслуживает вопрос о рациональном выборе сетки. Подобная конфликтная ситуация типична для расчетных методов, и выбор разумного компромисса часто определяется опытом и интуицией исследователя [2].

Другим используемым численным методом является метод Годунова, в основе которого лежат две идеи: первая состоит в использовании при построении разностной схемы точных решений уравнений кусочно-постоянными начальными данными; вторая идея - это использование гибких зачастую двигающихся, деформирующихся разностных сеток, связанных с контактными границами областей, ударными волнами и тому подобными линиями, выделяе-

мыми при расчете изначально. При этом ячейки сетки, вообще говоря, не связаны с движущимися частицами вещества. В случае, если интервалы сетки не равны между собой, моменты перестройки будут различным для различных узлов. Но даже в простейшем случае равномерной сетки описать точное решение для больших значений времени весьма громоздко [2].

Метод крупных частиц (МКЧ) – метод Белоцерковского-Давыдова [3] состоит в разделении исходной нестационарной системы уравнений Эйлера, записанной в форме законов сохранения, по физическим процессам. По существу, при таком подходе используются законы сохранения, записанные в форме уравнений баланса для ячейки конечных размеров. Метод является промежуточным между методом частиц в ячейках и обычными конечно-разностными подходами. Среда здесь моделируется системой жидких (крупных) частиц, совпадающих в данный момент с ячейками эйлеровой сетки. На каждом из этапов расчета временного цикла рассматриваются в зависимости от характера исследуемого решения различные виды аппроксимаций. Применяя рациональные формы аппроксимаций для различных видов течений, удастся резко сократить требования к объему памяти и быстродействию используемых ЭВМ. При этом, отход от дискретной модели представления частиц к концепции непрерывности, рассматривая вместо частиц поток массы через границы эйлеровых ячеек приводит к более устойчивому решению дифференциальных уравнений газовой динамики.

Рассмотрим процесс истечения газа из полужамкнутого цилиндрического резервуара (рис. 1) в рамках МКЧ.

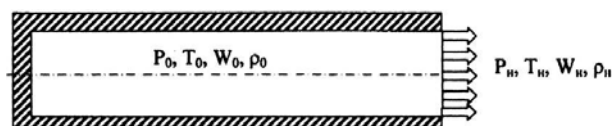


Рис. 1. Расчетная схема: P_0, T_0, W_0, ρ_0 – давление, температура, скорость и плотность газа внутри резервуара; P_n, T_n, W_n, ρ_n – давление, температура, скорость и плотность газа в окружающей среде

В исследуемой модели газ примем идеальным, а поток адиабатическим. Тепловыми процессами, происходящими внутри резервуара пренебрежем, но при необходимости они могут быть учтены. Для описания математической модели задачи истечения из полужамкнутого объема в качестве исходных уравнений возьмем дифференциальные уравнения Эйлера в дивер-

гентном виде (уравнения неразрывности, импульса, энергии) и запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho W) &= 0, \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u W) + \frac{\partial \rho}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v W) + \frac{\partial \rho}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho E W) + \operatorname{div}(\rho W) &= 0, \end{aligned}$$

где ρ – плотность потока, кг/м^3 ; W – вектор скорости потока, м/с ; u, v – проекции вектора W на ось x и y , м/с ; p – давление внутри полости, Па ; E – удельная полная энергия, дж/кг .

Решение данных уравнений будем производить численным методом крупных частиц [1]. Схема расчетной области представляет собой расчетную двумерную Эйлериову сетку в декартовой постановке (рис. 2).

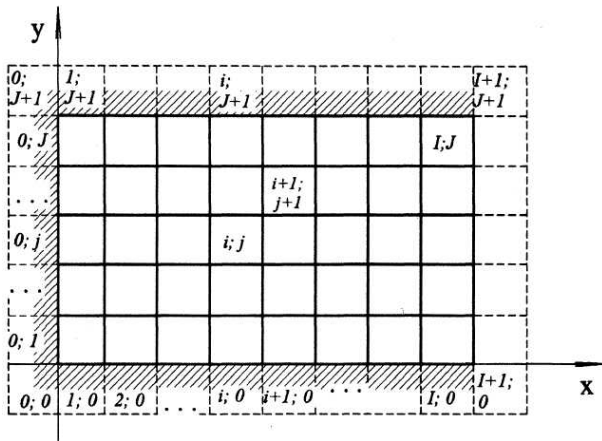


Рис. 2. Расчетная сетка

Расчетная область разбивается на I ячеек по x -координате и на J ячеек по y -координате. Ячейки с индексами $0, J+1, I+1$ – фиктивные ячейки, обозначающие границы расчетной области.

Начальные условия задаются значениями газодинамических параметров в начальный мо-

мент времени внутри расчетной области ($p_0, u_0, v_0, T_0, \rho_0$) и параметрами газа в окружающей среде ($p_n, u_n, v_n, T_n, \rho_n$).

Граничные условия для нижней (1), верхней (2) стенок и для левого закрытого торца (3) записываются в виде условий непротекания

$$u_{i,0} = u_{i,1}, v_{i,0} = v_{i,1}, p_{i,0} = p_{i,1}, E_{i,0} = E_{i,1}, \rho_{i,0} = \rho_{i,1} \quad (1)$$

$$u_{i,j+1} = u_{i,j}, v_{i,j+1} = v_{i,j}, p_{i,j+1} = p_{i,j}, E_{i,j+1} = E_{i,j}, \rho_{i,j+1} = \rho_{i,j} \quad (2)$$

$$u_{0,j} = u_{1,j}, v_{0,j} = v_{1,j}, p_{0,j} = p_{1,j}, E_{0,j} = E_{1,j}, \rho_{0,j} = \rho_{1,j} \quad (3)$$

Граничные условия для правого торца задаются условием открытой границы и будут определяться отношением давлений $y = p_n/p_0$. При этом критическое отношение давлений можно рассчитать по формуле

$$y_{кр} = \frac{p_{кр}}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

где k – показатель адиабаты газа.

Если $y > y_{кр}$, то выполняется условие

$$\begin{aligned} u_{i+1,j} = u_{i+1,j}, v_{i+1,i} = v_{i+1,i}, p_{i+1,i} = p_{i+1,i}, E_{i+1,i} = E_{i+1,i}, \\ \rho_{i+1,j} = p_n / (R \cdot T_{i+1,j}). \end{aligned}$$

В противном случае

$$u_{i+1,j} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left(1 - y^{\frac{k-1}{k}} \right)}, v_{i+1,j} = v_{i+1,j},$$

$$p_{i+1,j} = y_{кр} \cdot p_0, E_{i+1,j} = E_{i+1,j}, \rho_{i+1,j} = p_{i+1,j} / (R \cdot T_{i+1,j}).$$

Для примера выполнен расчет истечения из полузамкнутого цилиндрического резервуара длиной 3 м, диаметром 0,1 м, внутренним давлением 1 МПа и температурой 300⁰К. Для параметров окружающей среды зададимся давлением 0,1 МПа и температурой 300⁰К. Газом в резервуаре и окружающей среде будет выступать воздух с $k = 1,4$ и $K = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Число ячеек расчетной области 50×5.

На рис. 3 показан график изменения давления в резервуаре, рассчитанного по МКЧ и по теоретическим зависимостям [2].

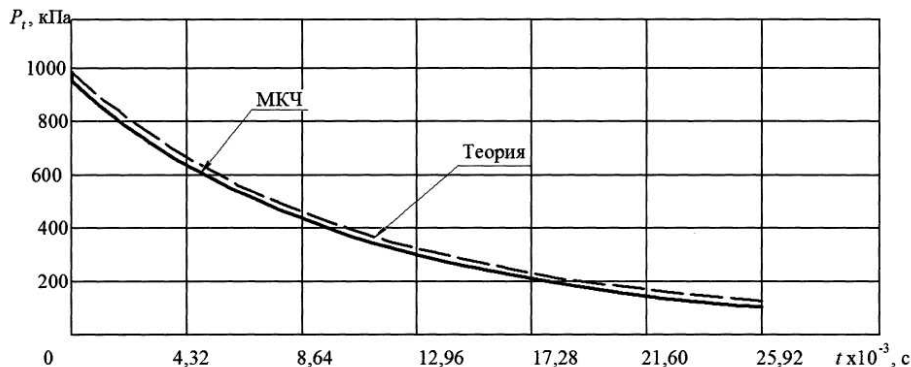


Рис. 3. Изменение среднего давления в резервуаре

Как видно из графика, расхождение расчета давления внутри полужамкнутого цилиндрического объема МКЧ по сравнению с методикой, описанной в [2], не превышает 5%.

Устойчивая разностная схема, применяемая в МКЧ, позволяет производить численные эксперименты для процессов с высокими градиентами давлений и температур. Благодаря используемой численной схеме расчета, применяемой в методе, удастся выявить ошибки на ранних этапах расчета, по сравнению с методом сеток. Это дает обоснование полагать о пригодности МКЧ в газодинамических расчетах нестационарных процессов течений газов. При долж-

ном усовершенствовании расчетной схемы, возможно производить расчет более сложных газодинамических устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоцерковский, О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред / О.М. Белоцерковский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Физматлит, 1994. - 448 с.
2. Белоцерковский, О.М. Метод крупных частиц в газовой динамике / Белоцерковский, Ю.М. Давыдов. - М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1982. - 392с.
3. Баллистика ракетного и ствольного оружия : учебник. / Ветров В.В. и др. МГТУ им. Н.Э. Баумана, ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - 470 с.

УДК 681.3.06(075)

Г. В. Ханов, А. Н. Тодоров, К. О. Долгов, М. Н. Дятлов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В SOLIDWORKS С ПРИМЕНЕНИЕМ МАКРОСОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: gkhanov@mail.ru

Выделены основные требования, предъявляемые к машиностроительным системам проектирования с точки зрения совершенствования этапа разработки в жизненном цикле изделия. Рассмотрен и предложен подход к созданию многовариантных параметрических моделей с помощью макросов, разработанных в среде SolidWorks.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, адаптация программ САПР, макросы, начальный этап проектирования, многовариантные параметрические модели, уникальные изделия, нестандартные элементы.

The main requirements imposed to machine-building systems of design from the point of view of improvement of a development stage in life cycle of a product are allocated. Approach to creation of multiple parametrical models by means of the macros developed in the environment of SolidWorks is considered and offered.

Keywords: design automation, adaptation of the SAPR programs, macros, initial stage of design, multiple parametrical models, unique products, non-standard elements.

В настоящее время особенно актуальной является задача сокращения времени проектирования изделий и выбор наилучших вариантов на начальном этапе проектирования, которая на российских промышленных предприятиях решается с помощью интенсивного внедрения систем автоматизированного проектирования. Использование САПР и средств расширения их функциональных возможностей позволяет повысить точность проектных работ, сократить время и стоимость разработки и выпуска наукоемких изделий. Этап проектирования во многом определяет качество изделия на протяжении всего его жизненного цикла.

Чтобы понять значение систем САД/САМ/САЕ, мы должны изучить различные задачи и операции, которые приходится решать и выполнять в процессе разработки и производства

продукта. Все эти задачи, взятые вместе, называются жизненным циклом продукта. Пример жизненного цикла продукта приведен на рис. 1.

Средства параметрического и геометрического моделирования повышают эффективность создания различных концептуальных проектов.

На начальном, поисковом этапе проектирования конструкций (особенно нестандартных, не имеющих аналогов, допускающих широкую вариацию, как параметров, так и топологии), конструктор вынужден рассматривать значительное число вариантов. Количество вариантов может быть разумно сокращено при наличии у конструктора большого опыта проектирования аналогичных изделий. Причем не рассмотренный по тем или иным причинам на данном этапе удачный вариант конструкции может привести к провалу проекта в целом.

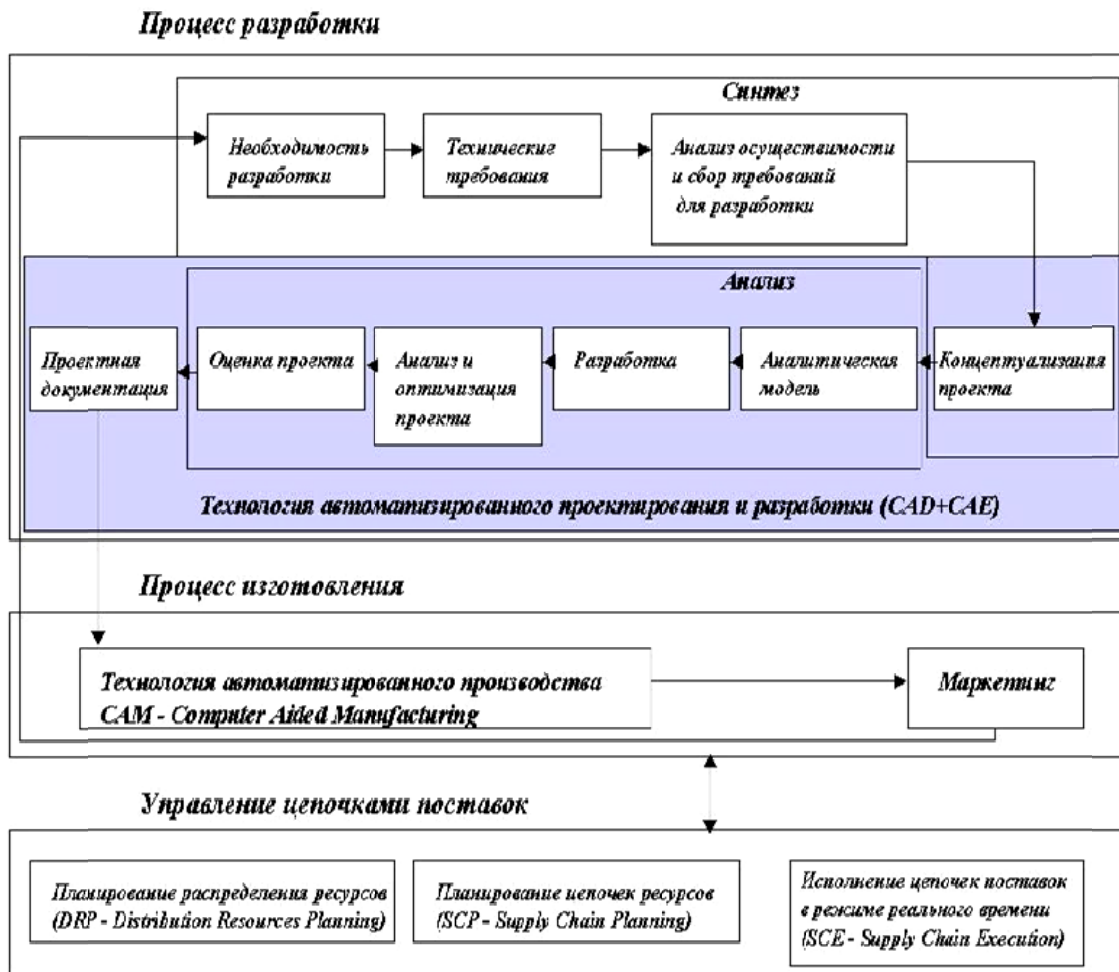


Рис. 1. Некоторые основные этапы жизненного цикла продукта

Для ускорения подготовки и анализа конструкций рационально использовать интегрированные системы CAD/CAE, весьма желательно – дополненные специализированными программами, макросами, библиотеками, алгоритмами, руководящими материалами, типовыми планами и правилами.

Существует целый ряд систем, обладающих развитыми функциональными возможностями при доступной (для небольших предприятий), стоимостью. Такого рода системы являются системами твердотельного моделирования [1].

Задача автоматизации проектирования уникальных изделий усложняется значительной долей нестандартных элементов. Поэтому представляется рациональным разбить все элементы на группы, отличающиеся по степени возможной автоматизации.

Предложенная концепция реализуется в среде SolidWorks при проектировании несущих конструкций транспортных средств.

Система позволяет создавать, обрабатывать, анализировать 3D модели и обладает развитыми языками программирования и написания макросов. К тому же SolidWorks имеет встроенные средства инженерного анализа (CAE) – SolidWorks Flow, SolidWorks Motion и другие.

Для оптимизации процессов построения и анализа элементов рамных конструкций написан макрос на VBA. На рис. 2 показан пример построения листового элемента рамы коробчатого сечения с помощью макроса [2].

Автоматизация начальных этапов проектирования носит комплексный характер с сегментацией элементов по группам и использованием соответствующих средств.

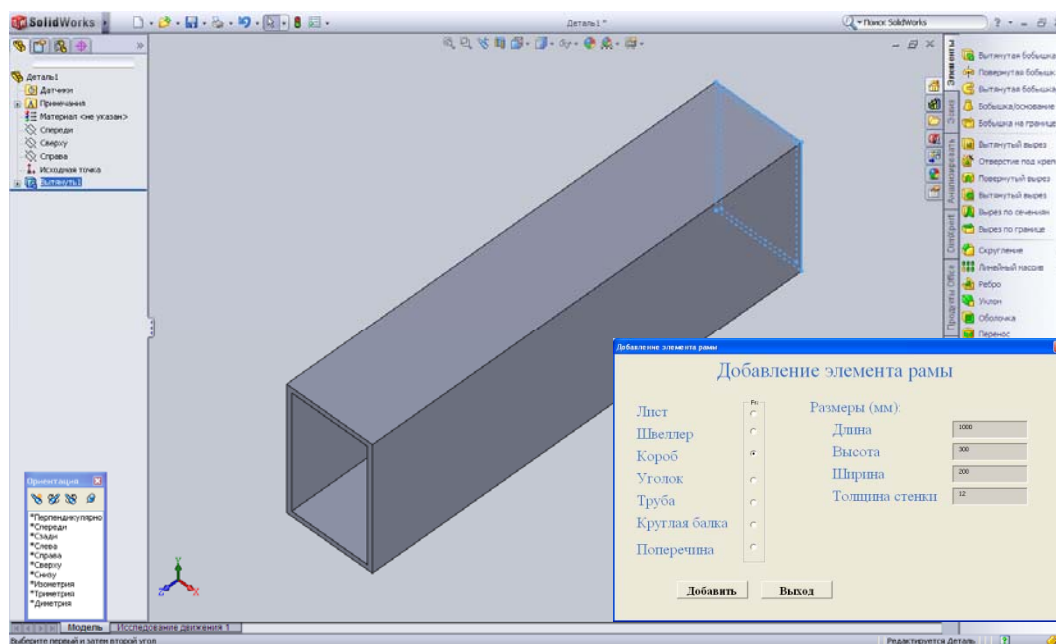


Рис. 2. Добавление рамы коробчатого сечения с помощью макроса

Таким образом, с помощью современных систем проектирования можно создавать многовариантные параметрические и динамические модели, проверять их свойства и поведение на компьютере до запуска в опытную партию и производство, что позволяет существенно сократить количество ошибок проектирования и ускорить реализацию проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ханов, Г.В. Основные возможности машиностроительных САПР среднего уровня в процессе проектирования / Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. ст. II Междунар. научно-техн. конф., июнь 2006 г./ Приволжский Дом знаний и др. - Пенза, 2006. - С. 106-108.
2. Ханов, Г.В. Автоматизация проектирования несущих конструкций специальных машин на начальном этапе проектирования / Ханов Г.В., Тодоров А.Н., Дятлов М.Н. // Известия ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2013. - № 20 (123). - С. 71-73.

УДК 621.9.015 ; 621.941

Ю. Л. Чигиринский, П. С. Нестеренко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Представлена принципиальная схема системы адаптивного управления траекторией движения режущего инструмента, применение которой позволит повысить эффективность токарной обработки нежестких деталей.

Ключевые слова: эффективность обработки, нежесткий вал, сила резания, управление траекторией движения режущего инструмента, система адаптивного управления.

The schematic diagram of the adaptive control system of the trajectory of the cutting tool, application of which would allow to increase the effectiveness of turning non-rigid parts, is presented.

Keywords: effectiveness of processing, non-rigid shaft, cutting force, control the trajectory of the cutting tool, adaptive control system.

Известно, что погрешности изготовления деталей машин, работающих при высоких скоростях в условиях действия больших знакопеременных нагрузок могут вызывать появление

дополнительных вибраций и увеличение динамических нагрузок, что существенно сокращает жизненный цикл изделий машиностроения.

При обработке нежестких валов токарная об-

обработка, на сегодняшний день, остается наиболее трудоемкой операцией и, за счет эффекта технологической наследственности, во многом предопределяет результаты последующей финишной обработки. В процессе обработки под воздействием составляющих силы резания (в основном радиальной составляющей P_y) элементы технологической системы смещаются из ненагруженного состояния, вызывая тем самым взаимное смещение инструмента и заготовки, приводящее к появлению погрешности обработки. При обработке нежестких валов величина данного вида погрешности достигает 80 – 90 % от общей погрешности обработки [8].

Из технологии машиностроения известно, что величина данной погрешности рассчитывается следующим образом:

$$\Delta D = 2 \cdot y_i = 2 \cdot P_y \cdot \varepsilon_i. \quad (1)$$

С учетом влияния непостоянства податливости технологической системы (систематическая составляющая погрешности) и колебаний величины припуска и физико-механических свойств обрабатываемой заготовки (случайная составляющая погрешности) на величину радиальной составляющей силы резания формула (1) примет вид [7] или, в развернутом виде для случая токарной обработки нежесткого гладкого вала в центрах (2):

$$\begin{aligned} \Delta D = 2 \cdot & \left[P_{y0} \cdot \frac{1 + C_p \cdot s^{y_p} \cdot v^{n_p} \cdot HB^n \cdot K_p \cdot (\varepsilon_3 + \varepsilon_{cyn})}{1 + C_p \cdot s^{y_p} \cdot v^{n_p} \cdot HB^n \cdot K_p \cdot \varepsilon_i} \cdot \left(\frac{x^5}{3 \cdot E \cdot J_1 \cdot L^2} + \frac{1}{E \cdot J_2} \right) \times \right. \\ & \times \left(\left(\frac{L^3 - x^3}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{x^2}{L} \right) - 2 \cdot x \cdot (L - x) \cdot \left(\frac{L^2 - x^2}{2} \right) \cdot \left(x - \frac{x^2}{L} \right) \right) + \varepsilon_{cyn} + \\ & \left. + \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 \cdot \varepsilon_3 + \frac{x^2}{L^2} \cdot \varepsilon_n \right] + \left[\Delta P_y \cdot \left(\frac{x^5}{3 \cdot E \cdot J_1 \cdot L^2} + \frac{1}{E \cdot J_2} \right) \cdot \left(\left(\frac{L^3 - x^3}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{x^2}{L} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - 2 \cdot x \cdot (L - x) \cdot \left(\frac{L^2 - x^2}{2} \right) \cdot \left(x - \frac{x^2}{L} \right) \right) + \varepsilon_{cyn} + \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 \cdot \varepsilon_3 + \frac{x^2}{L^2} \cdot \varepsilon_n \right]. \quad (2) \end{aligned}$$

В работе [7] предложен способ повышения точности токарной обработки за счет управления траекторией движения режущего инструмента. Данный способ предполагает коррекцию траектории движения инструмента путем смещения его в радиальном направлении на величину отжатия элементов системы, при одновременной силовой стабилизации процесса резания. Таким образом, за счет управления траекторией, обеспечивается постоянство произведения $P_y(\varepsilon_i) \cdot \varepsilon_i$, т. е. снижается влияние систематической составляющей погрешности, а за счет силовой стабилизации процесса обработки обеспечивается постоянство произведения $\Delta P_y \cdot \varepsilon_i$, т. е. снижается влияние случайной составляющей.

На основании данного метода разработана принципиальная схема (изображена на рисунке) системы адаптивного управления траекторией движения режущим инструментом.

В качестве математической модели, для алгоритма управления движением инструмента, может выступить первое слагаемое в квадратных скобках в формуле (2). Само управление осуществляется за счет изменения поперечной подачи станка $s_{п}$.

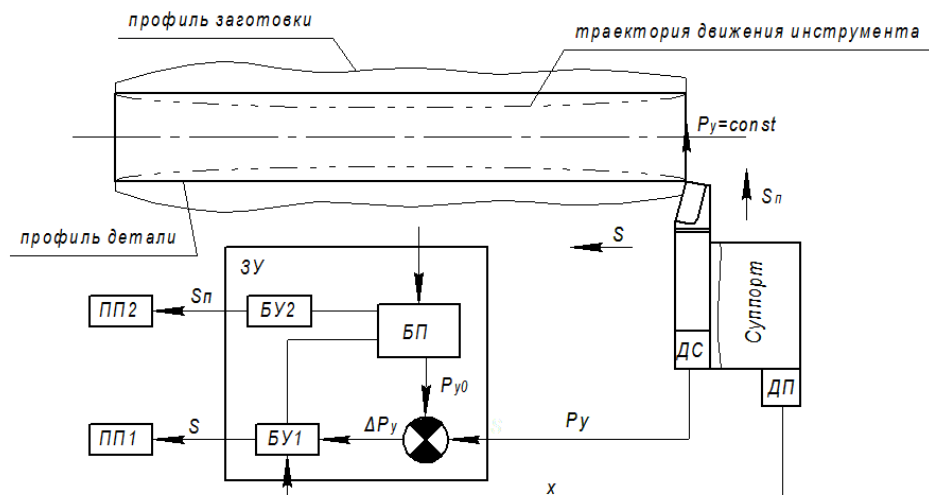
В качестве математической модели силы ре-

зания, необходимой для стабилизации, рассматриваем известную зависимость:

$$P_x = C_{P_x} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3)$$

Однако, согласно данным А. Л. Плотникова [6], ошибка в величине силы резания при расчете по формуле (3) достигает 200 % и более, что обуславливает необходимость создания уточненных математических моделей описывающих закономерность формирования радиальной составляющей P_y при конкретных условиях обработки. Построение математической модели можно производить по методике, описанной в работе [5]. Собственно регулирование величины силы P_y можно осуществлять путем управления геометрией резания [4] или регулирования режимных параметров в процессе обработки [3]. В данном случае корректировка осуществляется за счет изменения продольной подачи s .

Известно, что параметры режима резания, особенно подача, оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности. В связи с этим регулирование величины подачи должно производиться в диапазоне, при котором величина получаемой шероховатости не будет выходить за пределы допустимого значения.



Принципиальная схема системы адаптивного управления траекторией движения режущим инструментом: ДС – датчик силы; ДП – датчик перемещения; ЗУ – задающее устройство; БП – блок памяти; БУ1 – блок формирования управляющего сигнала для стабилизации силы резания; БУ2 – блок формирования управляющего сигнала для управления траекторией движения резца; ПП1 – привод продольной подачи; ПП2 – привод поперечной подачи

Существует ряд математических зависимостей, описывающих формирование шероховатости поверхности для разных сталей с учетом режимных параметров. Так, например, в работе Н. Б. Демкина и Э. В. Рыжова [2] приведена частная формула для чистового точения закаленной стали ХВГ резцом из композита 10 (гексаниа-Р):

$$Ra = 4,4 \cdot \frac{S^{0,69}}{t^{0,01} \cdot V^{0,15} \cdot r^{0,4}}, \quad (4)$$

Исходя из этого, ограничение по подаче примет вид:

$$S = 0,69 \sqrt{\frac{Ra_{\max} \cdot t^{0,01} \cdot V^{0,15} \cdot r^{0,4}}{4,4}}, \quad (5)$$

Следует отметить, что согласно формуле (4) могут быть назначены ограничения (5) только для конкретных условий обработки. Данное обстоятельство, а также тот факт, что зависимость предложена для стали одной марки, не обеспечивает возможности ее широкого применения и обуславливает необходимость построения математической модели рекомендованной для широкого круга марок сталей в более широком диапазоне режимных параметров.

Что касается характеристик поверхностного слоя то, при токарной обработке с использованием предлагаемой адаптивной системы управления, происходит стабилизация величины внутренних напряжений, а также глубины и степени наклепа. Так, согласно данным, приведенным в работе Б. С. Балакшина [1], при обработке заготовок при скорости резания 100 м/мин и подаче 0,21 мм/об с колебанием припуска от 1 до 3 мм на сторону на участках с глубиной

резания 1 мм величина внутренних напряжений составляет 362,2 Н/мм², а ее колебания на участках с разным припуском составляет 58,8-117,6 Н/мм². При обработке деталей с использованием систем адаптивного управления, стабилизирующих силовой режим обработки за счет изменения подачи, величина внутренних напряжений в поверхностном слое деталей при тех же условиях обработки становится практически постоянной и равной 362,2 Н/мм² с отклонением в некоторых деталях на 9,8-29,4 Н/мм². Кроме того, при управлении процессом резания, следует ожидать формирования структуры поверхностного слоя, более равномерной по сравнению с обычной обработкой. Исходя из этого, применение предлагаемой системы управления позволяет не только стабилизировать соответствующие характеристики качества поверхностного слоя, но и, при наличии достоверных математических моделей, установкой надлежащего силового режима обеспечить необходимые их значения.

Таким образом, применение предлагаемой системы управления существенно повышает эффективность обработки, в частности, точность, качество и, в результате снижения трудоемкости последующих операций и сокращения длительности цикла обработки, производительность технологического процесса в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балакшин, Б. С. Адаптивное управление станками / Б. С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
2. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

3. Допуск формы как эквивалент величины прогиба детали в подсистеме обеспечения точности токарной обработки нежестких валов на станках с ЧПУ / А. А. Жданов, А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Вып. 4, том 6. – С. 53-58.

4. Иванов, В. В., Пряжников А. А. Обоснование геометрических параметров рабочей части токарных резцов для чистовой обработки нежестких деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013, № 6-1. С. 45-51.

5. Математическая модель формирования осевой составляющей силы резания при точении стали 20ХН / П. С. Нестеренко, А. А. Бондарев, А. Р. Ингеманссон, Д. В. Крайнев, Ю. Л. Чигиринский // Сборник научных трудов SWorld. Вып. 1 : [матер. междунар. науч.-практ. конф. «Современные направления теоретических и при-

кладных исследований '2014», Одесса, 18-30 марта 2014 г.]. – 2014. – Т. 9 "Технические науки". – С. 9-14.

6. Плотников А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ: монография. ВолгГТУ. Волгоград: Политехник, 2003. 184 с.

7. Повышение точности токарной обработки нежестких валов за счет управления упругими деформациями технологической системы [Электронный ресурс] : доклад / П. С. Нестеренко, Ю. Л. Чигиринский // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2015 : матер. Интернет-конф., 6-18 октября 2015 г. / Проект SWorld. – С. 1-7. – Режим доступа : <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-315/machines-and-mechanical-engineering-315/26367-315-178>.

8. Подпоркин, В. Г. Обработка нежестких деталей. – М. ; Л. : Машгиз, 1959. – 208 с.

УДК 621.91

В. А. Солодков

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ТЕМПЕРАТУРА ПРИ ВРЕЗАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Скорость пластической деформации в контактной зоне при прерывистом резании выше, чем при установившемся резании.

Ключевые слова: прерывистое резание, пластическое деформирование, контактное взаимодействие, микротвердость.

The rate of plastic deformation in the contact area for want of discontinuous cutting is higher than in steady-state cutting.

Keywords: discontinuous cutting, plastic deformation, contact interaction, microhardness.

В процессе формирования контактной зоны при врезании происходит непрерывное изменение ее формы, размеров и характеристик пластического деформирования. При этом также непрерывно изменяется и температура резания. Одной из особенностей этой фазы процесса резания является получение в контактной зоне объемов, микротвердость которых значительно выше, чем это можно получить в результате пластической деформации [1].

На рис. 1 зафиксировано подобное явление, когда микротвердость превышает микротвердость нароста (6000-7000 МПа).

Пик микротвердости соответствует той части контактной зоны, где находятся объемы материала, имеющие белый цвет и инертные к травлению (рис. 2). По мнению Т. Н. Лоладзе высокая твердость прирезцового слоя стружки обусловлена закалкой контактных объемов в момент фиксации процесса резания [2]. Рентгеноспектральный анализ и электронная микро-

скопия прирезцового слоя указывают на то, что по толщине закаленного слоя имеется смесь тонкоиглочатого мартенсита, остаточного аустенита и феррита, с уменьшением концентрации мартенсита вглубь стружки. Структурным превращениям в контактных слоях при резании,

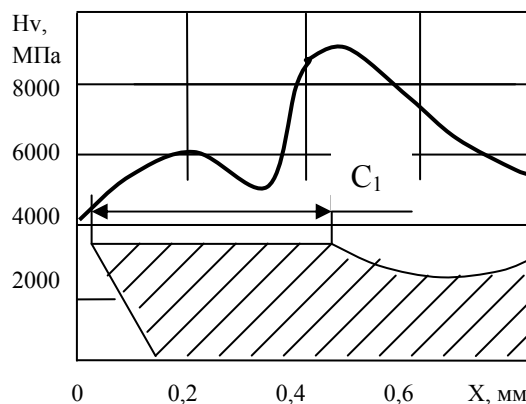


Рис. 1. Микротвердость в контактной зоне при длине резания $L = 40$ мм

в частности, быстрому превращению перлита в аустенит способствует значительная пластическая деформация и непрерывное пластическое течение контактных слоев. По мнению [2] и при прерывистом резании времени достаточно для разогрева контактных объемов и протекания структурных превращений, однако эти превращения происходят в более тонких контактных слоях.

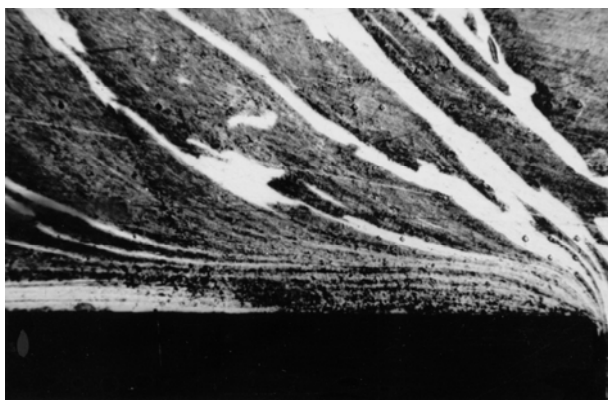


Рис. 2. Корень стружки при длине резания 40 мм (сталь 45 – ВК8; $V = 60$) м/мин)

Появление белой зоны при прерывистом резании свидетельствует прежде всего о том, что уровень температур контактных слоев за сотые доли секунды успевает превысить точку A_{c3} (даже при резании высокотеплопроводным сплавом ВК8 со скоростью 60 м/мин). Кроме того, место расположения пика микротвердости претерпевших закалку контактных объемов, очевидно, указывает на зону, имеющую максимальный уровень температур. По вопросу о расположении на передней поверхности инструмента максимума температур существуют различные мнения. Н. В. Талантовым высказано предположение о достижении максимума температуры в конце участка разупрочнения (в конце пластического контакта C_1), т.е. там, где начинает образовываться лунка [3]. Для проверки этого предположения были проведены кратковременные стойкостные испытания, которые прекращались сразу же после начала образования лунки. При большом вертикальном увеличении записывалась профилограмма передней поверхности режущей пластины. Затем эта профилограмма совмещалась с кривой изменения микротвердости по длине контакта (рис. 1). Эксперимент показал хорошее совпадение области максимальной температуры, определяемой по максимуму микротвердости с началом лунки.

Возвращаясь к конкретным причинам закалки контактных объемов при прерывистом резании необходимо отметить следующее. При врезании с возникновением контактного пластического течения выделяющееся тепло поступает в основном в холодный инструмент и прогревает его. Основная же масса стружки имеет температуру, которую она приобрела после прохождения зоны стружкообразования. При получении корня стружки происходит разделение контактной поверхности инструмента и прирезцово́й поверхности стружки, в результате чего контактные слои закаляются вышележащими, значительно более холодными объемами стружки. В подтверждение этого предположения можно привести факт снижения амплитуды закалочного пика микротвердости с увеличением длины реза (~6500 МПа при длине реза 185 мм) что, очевидно, происходит вследствие прогрева инструмента и перераспределения стока тепла в стружку. При установившемся резании явление закалки контактных объемов, как правило, отсутствует вследствие достаточного прогрева стружки и недостаточной, поэтому скорости охлаждения при получении корня стружки.

Другим, интересным выводом из анализа кривых закалочной микротвердости является факт смещения пика закалочной микротвердости в более высоких контактных слоях в направлении зоны стружкообразования. Это, очевидно, связано с более высокими градиентами температур в направлении зоны стружкообразования или, иначе говоря, с более низкой температурой стружки в этом направлении. То есть, несмотря на то, что основная доля возникающего в контактной зоне тепла поступает в инструмент, некоторый прогрев основной массы стружки все же происходит.

Кроме отмеченных выше отличий, в характере пластического деформирования при прерывистом и установившемся резании, были получены данные, в определенной степени противоречащие принятым за основу взглядам [3]. Сказанное относится к динамике изменения участка упрочнения C_2 по длине реза. Согласно существующим представлениям, размер этого участка для конкретных условий обработки определяется скоростью резания или, что то же самое, температурой резания. С ростом скорости резания участок C_2 уменьшается, т.к. считается, что уровень температуры, соответствующий началу интенсивных процессов разупроч-

нения при этом достигается раньше. Анализ изменения микротвердости показывает, что после формирования единой контактной зоны по мере резания происходит непрерывный рост участка упрочнения C_2 (не достигая однако величины C_2 при установившемся резании). Известно [4], что при врезании температура резания непрерывно растет (при постоянной толщине среза). Поэтому получается, что в данном случае одновременно растут температура резания и участок C_2 , что является противоречием. В попытке разрешить это противоречие был предпринят анализ текущих характеристик пластического деформирования, и в частности, скорости деформации. Средние скорости деформаций в контактной зоне по передней поверхности определялись по следующей зависимости

$$\varepsilon = (\Delta \cdot \zeta) / V,$$

где Δ - толщина контактной зоны; ζ - усадка стружки; V - скорость резания.

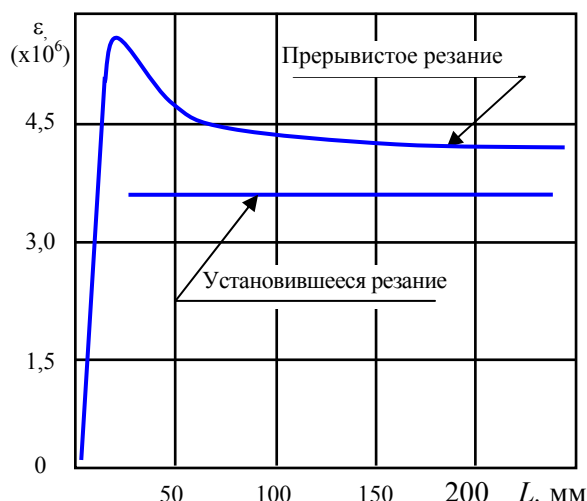


Рис. 3. Скорость деформаций в контактной зоне (сталь 45-ВК8; $V = 60$ м/мин; $S = 0,34$ мм/об)

Из приведенной формулы видно, что скорость контактных деформаций зависит не только от толщины контактной зоны, но и от скорости движения стружки по передней поверхности, определяемой соотношением V/ζ . Как видно из рис. 3, скорости деформаций в контактной зоне, рассчитанные по экспериментальным данным по переменной длине реза L , однако на всей длине реза они превосходят скорости деформаций при установившемся резании в тех же условиях обработки. Известно, что именно скорости деформаций (при данных инструменте и обрабатываемом материале) определяют время и место достижения максимально упроченного состояния, т.е. размеры участка упрочнения C_2 .

Действительно, по мере врезания скорости деформаций падают, поэтому, как результат, для достижения предельного упрочнения требуется большее время и большее расстояние от режущей кромки. Другими словами, участок упрочнения по мере врезания должен расти, что и имеет место в действительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солодков В. А. Стружкообразование и контактное взаимодействие при врезании / В. А. Солодков, М. А. Тибиркова // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 13. – С. 49-52.
2. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982, 320 с.
3. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
4. Солодков В. А. Влияние условий врезания на рост температуры при прерывистом резании / В. А. Солодков, М. А. Тибиркова // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 9: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 7. – С. 46-48.

УДК 621.9.025

А. И. Курченко, С. И. Кормилицин, И. А. Стребков

ВЛИЯНИЕ ВИДА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Исследовано влияние видов контактного взаимодействия по передней поверхности на среднюю температуру резания по передней поверхности.

Ключевые слова: титановый сплав, твердосплавный инструмент, износ, температура резания

The influence of types of contact interaction on the anterior surface of the average cutting temperature on the front surface.

Keywords: titanium alloy, carbide tool, wear, tempera-round cutting

Практика черновой и получистовой обработки титановых сплавов показала, что необходимо применять невысокие скорости резания 20...50 м/мин, что бы обеспечить приемлемую стойкость режущего инструмента. Это обусловливается особыми физическими свойствами этих сплавов: высоким пределом прочности, близкими значениями предела текучести и предела прочности, низким значением коэффициента теплопроводности. Наличие таких характеристик у данных сплавов приводит при их механической обработке к возникновению циклического процесса стружкообразования с колебанием сил резания и температур, что в конечном итоге значительно интенсифицирует износ инструмента.

В работе [1] были представлены результаты получистового точения титановых сплавов ВТ-5, ВТ-9, ВТ-14 на скоростях резания, превышающих невысокие рекомендуемые на 15...20%. На этих несколько повышенных скоростях резания стойкость инструмента снижалась на 50...100%, что совершенно неприемлемо для производства.

Разработка мероприятий и рекомендаций по повышению производительности обработки титановых сплавов должна основываться на понимании закономерностей процессов в зоне резания, особенно в контактной зоне, где стружка перемещается по передней поверхности резца.

В работе [2] доказано, что основным фактором, влияющим на интенсивность износа инструмента, является вид контактного взаимодействия по рабочим поверхностям режущего инструмента. Для однокарбидного твердосплавного инструмента это нарост, пульсирующая контактная зона, участок с пластическим контактом и участком лунки, где реализуется внешнее трение. Эти виды контактного взаимодействия характерны для точения конструкционных сталей. При точении нержавеющей сталей однокарбидным твердосплавным инструментом обнаружен еще один вид контактного взаимодействия со смещенным наростом относительно режущей кромки. Этот смещенный нарост (своеобразная застойная зона) располагается в районе лунки износа передней грани. Именно эти виды контактного взаимодействия определяют механизмы износа резца: механический износ от внешнего трения, адгезионно-усталостный износ, который может сочетаться

с механическим износом, износ в виде микро и макросколов поверхностей инструмента.

При получистовом точении титановых сплавов [1] рекомендуются сплавы марок ВК6 и ВК8, именно они хорошо противостоят циклическим нагрузкам от колебания сил резания и температур в диапазоне применяемых скоростей – 30...50 м/мин, в зависимости от вида термообработки заготовок. По сравнению с более хрупкими двухкарбидным твердосплавным инструментом группы ТК, они имеют более низкий порог «теплостойкости» – в районе 800...850°C. Поэтому логичнее всего предположить, что при повышении скоростей резания на 15...20% от рекомендуемых по справочной литературе, именно температурный фактор является доминирующим в резком падении стойкости резцов. Нарушение пропорциональной зависимости между приростом скорости (температуры) и падением стойкости можно объяснить тем, что температура резания на рекомендуемых скоростях близка к порогу «теплостойкости» и наступает износ, приближающийся к катастрофическому или тем, что меняется вид контактного взаимодействия и появляется интенсивный источник тепловыделения.

Усиление усталостного износа из-за увеличения частоты циклического процесса при повышении скорости резания на 15...20% может проявляться тоже, но пропорционально росту скорости резания и не должно приводить к столь резкому уменьшению стойкости.

Для изучения причин рассмотренного выше резкого падения стойкости инструмента были получены корни стружек в широком диапазоне скоростей резания и проводились фрактографические исследования характера износа инструмента. На основании этих экспериментальных данных можно сделать выводы о том меняется ли вид контактного взаимодействия стружки с резцом, сохраняется или изменяется механизм изнашивания инструмента и рассчитать температуру резания в зависимости от характера контактного взаимодействия.

Режимы резания: скорость резания $v = 5...90$ м/мин; подача $s = 0,25$ мм/об; глубина резания $t = 1,5$ мм; передний угол $\gamma = 0^\circ$; задний угол $\alpha = 15^\circ$. Применяемые твердые сплавы ВК6, ВК6ОМ, ВК8.

На рис. 1...8 представлены корни стружек твердого сплава при малых скоростях резания и при повышенных скоростях.

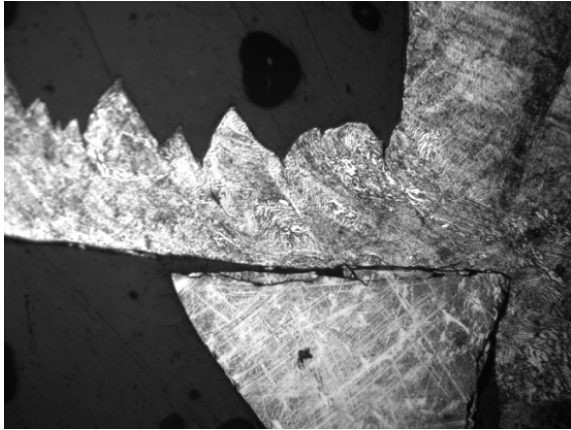


Рис. 1. Корень стружки при скорости резания 5 м/мин, время резания 0,1 мин; х 70

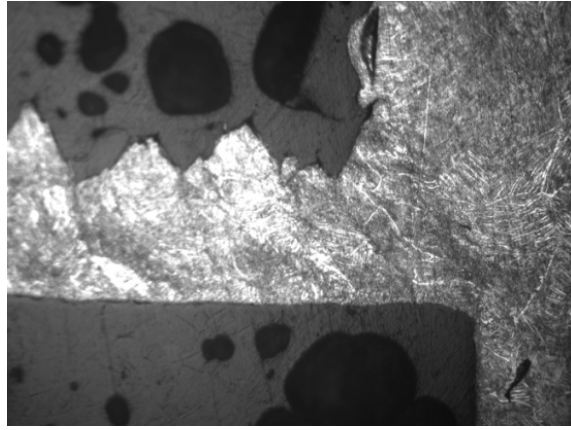


Рис. 2. Корень стружки при скорости резания 5 м/мин, время резания 0,1 мин; х 70

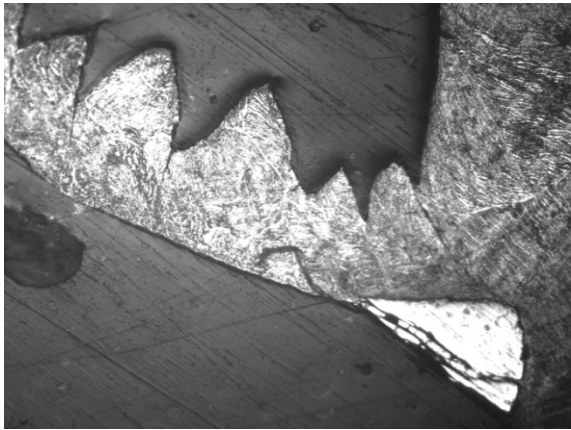


Рис. 3. Корень стружки при скорости резания 40 м/мин, время резания 0,1 мин; х 70

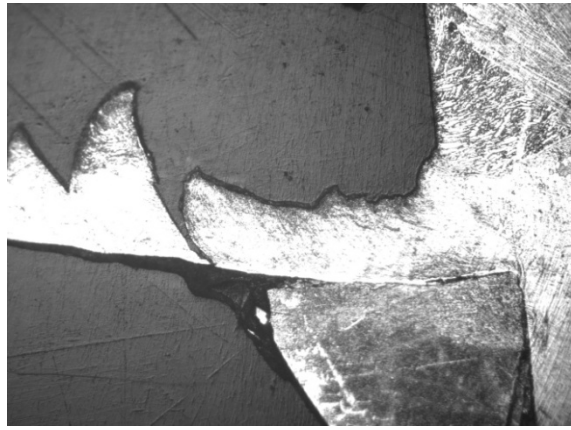


Рис. 4. Корень стружки при скорости резания 40 м/мин, время резания 3 мин; х 70

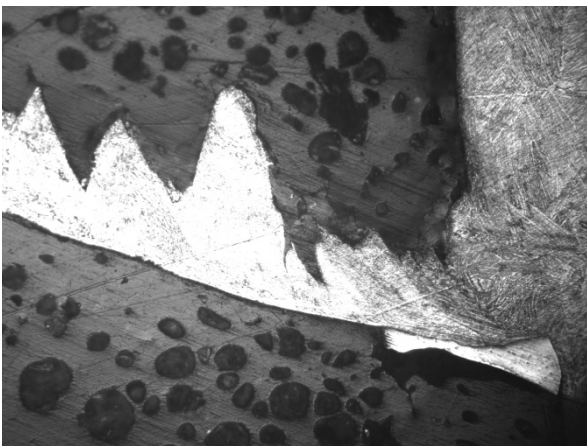


Рис. 5. Корень стружки при скорости резания 50 м/мин, время резания 1 мин; х 70

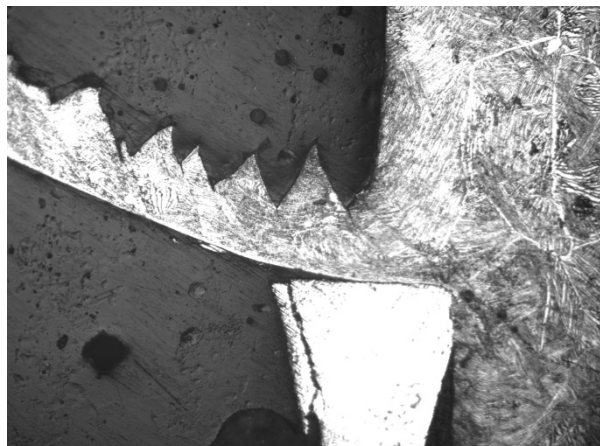


Рис. 6. Корень стружки при скорости резания 60 м/мин, время резания 0,1 мин; х 70

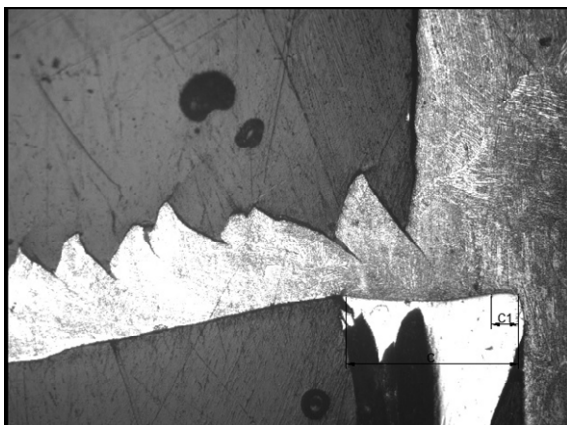


Рис. 7. Корень стружки при скорости резания 70 м/мин, время резания 0,1 мин; х 70



Рис. 8. Корень стружки при скорости резания 80 м/мин, время резания 3 мин; х 70

Анализ корней стружек показал, что до скоростей резания в 50 м/мин реализуется внешнее трение по всей передней поверхности резцов: не наблюдается контактного слоя, претерпевшего степень пластической деформации 30...40, который должен выглядеть структурно однородным по толщине; контакт везде не сплошной, что характерно для внешнего трения; на скорости 50 м/мин (рис. 5) за малый промежуток времени резания произошел микровыворот с передней поверхности, доходящий до режущей кромки, что возможно только при внешнем трении по всему участку.

На участке задней поверхности резцов наблюдается заметный износ за малое время резания, это возможно при интенсивном процессе микросколов, сочетающемся с адгезиоусталостным износом. Данный износ характеризует контактное взаимодействие по механизму внешнего трения, а микросколы обусловлены циклическим процессом резания и высоким контактным давлением титанового сплава на заднюю поверхность резца из-за высокого значения модуля упругости.

При скорости резания 60 м/мин (рис. 6) на участке, прилегающем к режущей кромке, видно полное «прилипание» контактной поверхности стружки к резцу и формируется однородный контактный слой тонкой толщины из-за физико-механических свойств титановых сплавов, обладающих низкой пластичностью (в отличие от жаропрочной стали ЭИ-481) и склонностью к адиабатичности процесса пластического деформирования титановых сплавов.

На корне стружки при скорости 70 м/мин (рис. 7) наблюдается полное «прилипание» контактной поверхности стружки к резцу, четко виден заметно изношенный участок лунки

и классическая «полочка» пластического контакта, характерная для износа при этом виде взаимодействия. При скорости резания 80 м/мин (рис. 8) идет интенсивный процесс диффузионного изнашивания резца, формируется пластифицированный контактный слой и происходит процесс потери устойчивости режущего клина (превышение его предела «теплостойкости»).

Результаты исследования корней стружек показывают, что со скоростей больших 50...55 м/мин контактное взаимодействие по механизму внешнего трения на всем участке взаимодействия стружки с резцом заменяется взаимодействием с пластическим контактом и внешним трением на участке лунки. Фрактографическое изучение изнашивания инструмента на производственных скоростях резания (рис. 9) показало, что износ в виде микро- и макросколов является доминирующим с точки зрения надежности сохранения работоспособности режущего инструмента.

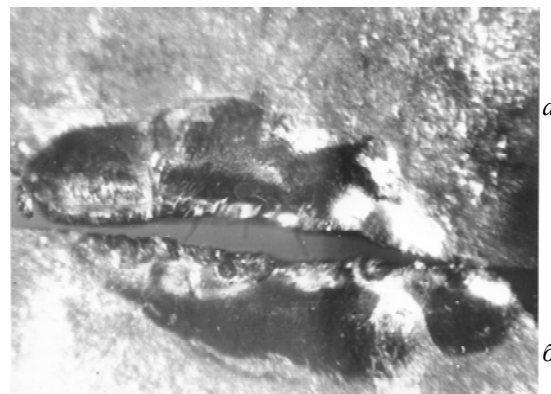


Рис. 9. Изнашивание передней поверхности резцов марки BK6 (а) и BK6OM (б); время резания 5 мин, скорость резания 50 м/мин

Сплав ВК6ОМ обладает большей прочностью, но хуже противостоит диффузионному износу (при высоких температурах) чем сплав ВК6. Как видно на рис.9 его режущая кромка лучше сохраняет фомоустойчивость, Следовательно, температура резания не достигла того значения, когда доминировать начинают диффузионные процессы износа и проявляется ползучесть режущего клина.

В теории механической обработки чаще всего применяют два основных общепринятых метода расчета температуры резания на передней поверхности инструмента. Метод, описанный Резниковым А.Н. [3], описывает процессы, происходящие при механическом контакте стружки с резцом.

Метод расчета Резникова А.Н. не подходит для расчета температуры на участке пластического контакта, поскольку не учитывает механизм тепловыделения от пластического деформирования контактных слоев стружки. Поэтому применяют разработанный Талантовым Н.В. [2] метод определения $\Theta_{т.п.}$ для условно плоского источника тепловыделения на участке пластического контакта.

Определим температуру резания при точении титанового сплава ВТ-5 на скоростях резания 30 м/мин, 40 м/мин и 50 м/мин, когда реализуется взаимодействие по механизму внешнего трения.

Экспериментальные и справочные данные, необходимые для расчета приведены в таблице.

Исходные данные для расчета по методу А. Н. Резникова

v , м/мин	30	40	50	60	70
ω , см ² /с	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
l_1 , мм	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30
λ , кал/(см*с*°С)	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
F_m , Н	763	741	725	716	710
k	1,40	1,25	1,15	1,10	1,00

где v - скорость резания; ω - коэффициент температуропроводности титана ВТ-5; l_1 - длина участка контактирования стружки с резцом; λ - удельная теплоемкость титана ВТ-5; F_m - сила

трения стружки о переднюю поверхность резца на площадке контакта; k - коэффициент усадки стружки.

Рассчитаем интенсивность тепловыделения на выбранных скоростях по формуле (1):

$$q_{It} = 0,039 * F_t * \frac{v}{k} \quad (1)$$

Для $v = 30$ м/мин $q_{It} = 666,2$ кал/(см*с); $v = 40$ м/мин $q_{It} = 925,2$ кал/(см*с); $v = 50$ м/мин $q_{It} = 1229,3$ кал/(см*с).

Далее по формуле (2) находим среднюю температуру на площадке контакта:

$$\Theta_{It} = \frac{2 * q_{It} * \sqrt{\omega * l_1} * K_M * K_C}{\lambda * \sqrt{\pi * v_1}} \quad (2)$$

где K_M и K_C - коэффициенты формы для двухмерных быстродвижущихся источников; $v_1 = v/k$, м/мин.

Для $v = 30$ м/мин $\Theta_{It} = 580,7$ °С; $v = 40$ м/мин $\Theta_{It} = 601,1$ °С; $v = 50$ м/мин $\Theta_{It} = 606,3$ °С.

Для конструкционных сталей, по данным различных справочников на скорости 50 м/мин температура варьируется в промежутке 300... 350 °С, очевидна значительная разница по сравнению с полученными данными для обработки титанового сплава ВТ-5.

При скоростях резания близких к 55 м/мин происходит смена видов контактного взаимодействия: реализуется участок пластического контакта и участок внешнего трения (лунка по передней поверхности резца). Рассчитаем температуру резания для скоростей 60 и 70 м/мин. Используем для расчета температур только от внешнего трения на лунке формулы (1) и (2), а на участке пластического контакта формулу (3). Затем рассчитаем усредненную температуру на всем контакте стружки с резцом, учитывая размеры каждого вида контактирования.

Для участка внешнего трения получаем интенсивность тепловыделения по формуле (1): для $v = 60$ м/мин $q_{It} = 1538,2$ кал/(см*с), для $v = 70$ м/мин $q_{It} = 1913,1$ кал/(см*с), а температуру по формуле (2): для $v = 60$ м/мин $\Theta_{It} = 796,1$ °С, для $v = 70$ м/мин $\Theta_{It} = 820,4$ °С.

Для участка пластического контакта определяем температуру по методу Талантова Н. В. по формуле (3).

$$\Theta_{т.п.} = \frac{9,37 * F * (n+1) * \sqrt{C * \omega}}{\lambda * \sqrt{\pi} * K_n * b_p * [C_1 * (m-1) * (n+1) + 2 * (n * C_1 + C)]} * \left[\frac{3m-2}{2} * \sqrt{C_1} + \frac{1}{C * (1-n)} * \left(1 - \left(\frac{1-C}{1-C_1} \right)^{1-n} \right) \right] \quad (3)$$

где F - тангенциальная составляющая силы резания, Н; C - величина полного контакта равная l_1 из таблицы 1, мм; n - величина, зависящая от отношения C/k ; k - коэффициент усадки стружки; ω - коэффициент температуропроводности титана ВТ-5, $\text{см}^2/\text{с}$; λ - удельная теплоемкость титана ВТ-5, $\text{Вт}/(\text{мм}\cdot\text{К})$; K_n - механический эквивалент теплоты, $\text{кгс}\cdot\text{м}$; b_p - ширина участка контакта, мм; m - коэффициент отношения плотностей материала обрабатываемой детали от инструментального материала; C_l - величина участка пластического контакта, мм (рис. 7). Для $v = 60$ м/мин $C_l = 0,056$ мм, для $v = 70$ м/мин $C_l = 0,048$ мм.

Расчет дает следующие результаты: для $v = 60$ м/мин $\Theta_{т.п.} = 853,2$ °С, для $v = 70$ м/мин $\Theta_{т.п.} = 985,3$ °С.

Для определения средней температуры на передней поверхности резца нужно учесть, какую часть от общего контакта занимает каждый из участков. Участок C_l при $v = 60$ м/мин и $v = 70$ м/мин занимает 16% от общего контакта, на участок внешнего трения остается 84%. В таких пропорциях учитываем полученные температуры. Общая средняя температура для $v = 60$ м/мин $\Theta_{it} = 805,2$ °С, для $v = 70$ м/мин $\Theta_{it} = 846,8$ °С.

Для наглядности расчеты приведены в виде графика на рис. 10. В интервале производственных скоростей резания по мере увеличения скорости температура повышается равномерно, но при достижении скорости резания в 60 м/мин температура резко повышается. Это связано с возникновением участка пластического контакта.

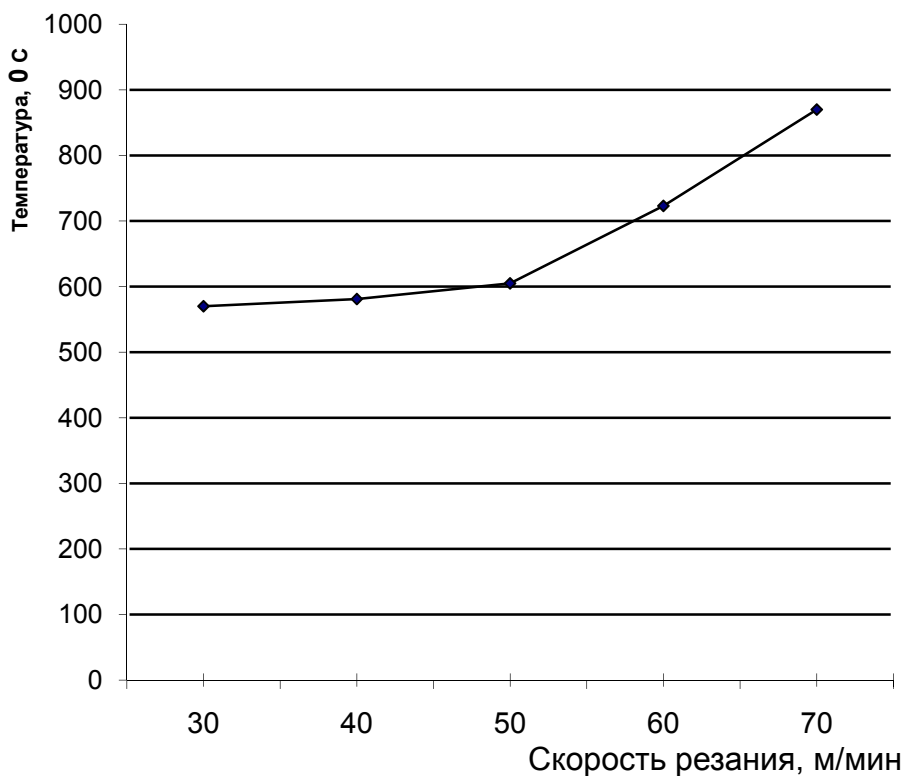


Рис. 10. График зависимости средней температуры передней поверхности резца от скорости резания титанового сплава ВТ-5

При скорости резания 60 м/мин твердый сплав группы ВК находится очень близко к пределу теплостойкости – 850°С и при оптимизации геометрии его режущего клина можно получить приемлемую стойкость резцов 35...40 мин и повысить производительность обработки на 20%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петруха П.Г. Резание труднообрабатываемых материалов/ П. Г. Петруха, П. Д. Беспяхотный, Б. Е. Бруштейн.- М.: Машиностроение. 1972. – 176 с.
2. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента/ Н. В. Талантов.- М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
3. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов/ А. Н. Резников.- М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 658.52.011.56:519.17

В. Г. Барабанов, А. К. Иванюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САД-СИСТЕМ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ЗОН ДЕФОРМАЦИИ КОРПУСОВ ПРИБОРОВ СВЯЗИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ivanyuk_aleksei@mail.ru

Современные САД-системы позволяют не только анализировать правильность геометрического построения модели, но и выявлять наиболее опасные участки, так называемые концентраторы напряжений. Для проведения наиболее рациональных испытаний объектов необходимо знать эти опасные участки. Авторами предлагается использование различных САД-систем, с приведением примеров их действия в качестве определяющей точки для начала проведения реальных испытаний.

Ключевые слова: автоматизация производства, корпуса приборов, САД-системы, деформированное состояние.

Modern CAD systems allow not only to analyze the correctness of geometrical model building, but to identify critical zones, so called stress concentrators. To perform the most efficient tests of objects it is necessary to know the dangerous areas. The authors propose to use different CAD systems, with examples of their action, as the defining point of start the real tests.

Keywords: industrial automation, housing, CAD systems, strain state.

В настоящее время проведение испытаний готовых приборов является важной заключительной частью проверок на соответствие качества изделия на любом производстве. Но чаще всего при проведении таких испытаний на воздействие внешних и внутренних факторов прибор с большой вероятностью может выйти из строя. Особенно это относится к разрабатываемым приборам, имеющим большие отличия от аналогов [1].

В рамках данной статьи рассматриваются и предлагаются пути решения данных проблем на примере корпусов прибора связи из материала ПВХ, PVC-U [2]. При проектировании нового оборудования инженеры конструкторы не могут заранее знать месторасположение наиболее опасных участков. Сосредоточенная присоединительная масса, воздействие внешней равномерно распределенной силы или возникновение пластификации внутренних частей корпуса из-за воздействия нагрева от электрических элементов, все это существенным образом воздействует на изменение внутренней

структуры и, как следствие, геометрии корпуса прибора [3].

Соответственно, при проведении реального испытания необходимо знать приблизительное место установки датчиков для диагностики и, что важно, своевременной остановки испытания до выхода прибора из строя.

Авторами была предложено решение для нахождения наиболее неустойчивых зон с помощью современных САД систем [4]. Стоит отметить, что было учтено несколько важных факторов при проведении виртуального испытания. Во-первых, были проанализированы возможности системы Autodesk Inventor. Во-вторых, выявлены недостатки и предложены решения по данным испытаниям. Качественные результаты оказались максимально приближенными к результатам реальных полевых испытаний, полностью повторяли геометрию испытанных объектов [5]. Количественно результаты отличались и варьировались в большом диапазоне, не позволяя выявить общую закономерность или коэффициент. Это происходит

из-за нескольких причин. Во-первых, проектирование носит упрощенный характер, особенно это относится к элементам крепления, и для проведения анализа нуждаются в замене виртуальными имитаторами (к примеру, виброизолятор, или болтовое соединение), во-вторых, свойство реальных материалов, из которых состоят корпуса исследуемых объектов, отличаются от виртуально заложенных значений порою в больших пропорциях [6]. Поэтому было предложено использование CAD систем только

для нахождения наиболее опасных участков для дальнейшей установки на них различных датчиков (тензодатчиков, тепловых и т.д.) [7].

Опишем более детально полученные результаты и приведем некоторые отчетные данные по разным корпусным изделиям. Рассмотрим первый каркас оболочку, состоящую из материала со свойствами, приведенными в соответствии с реальным материалом исследуемого образца (рис. 1). Результаты испытаний приведены на рисунках 2 и 3.

Материал(-ы)

Имя	PVC-U	
Общие	Массовая плотность	1.4 г/см ³
	Предел текучести	46.53 МПа
	Окончательный предел прочности растяжения	50 МПа
Напряжение	Модуль Юнга	2.5 ГПа
	Коэффициент Пуассона	0 бр
	Модуль упругости при сдвиге	1.25 ГПа

Рис. 1. Отчет материала программы Inventor

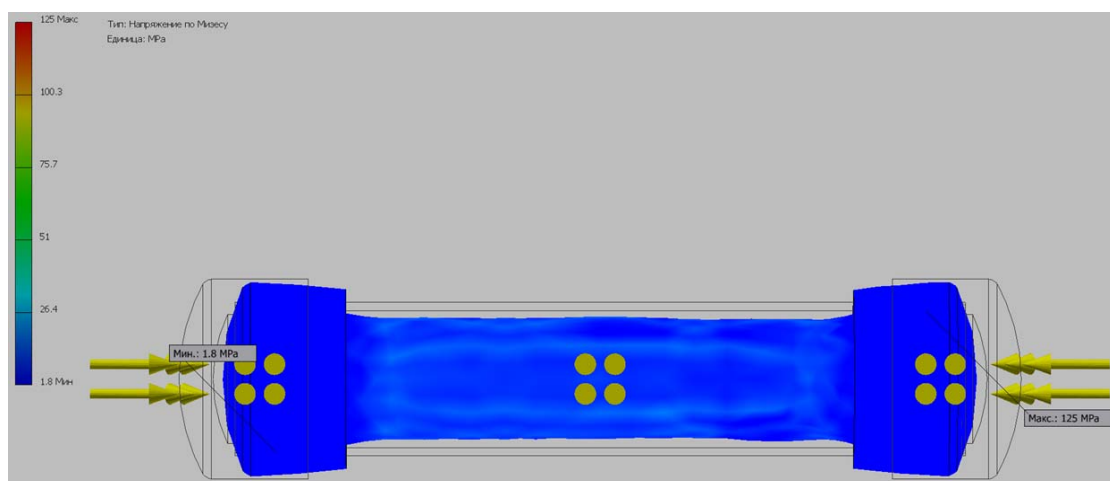


Рис. 2. Эпюра статических узловых напряжений (по фон Мизесу) корпуса-оболочки, нагруженного наружным гидростатическим давлением

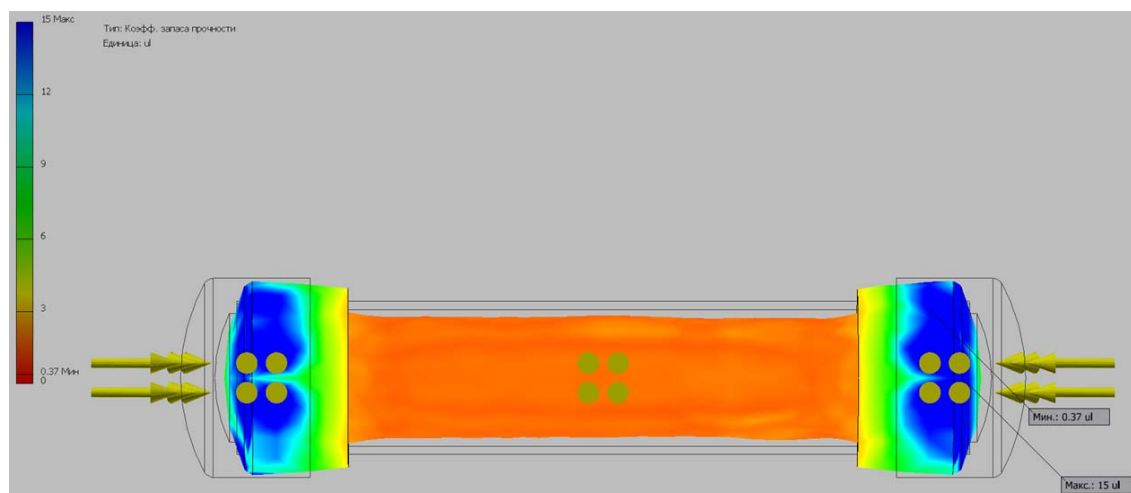


Рис. 3. Коэффициент запаса прочности

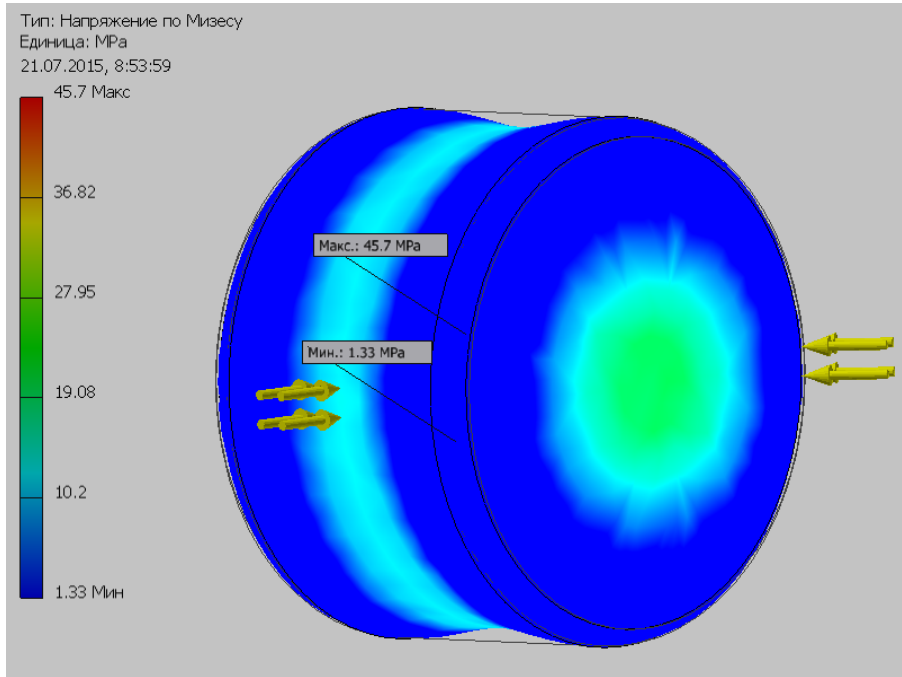


Рис. 4. Эпюра статических узловых напряжений (по фон Мизесу) корпуса-оболочки, нагруженного наружным гидростатическим давлением

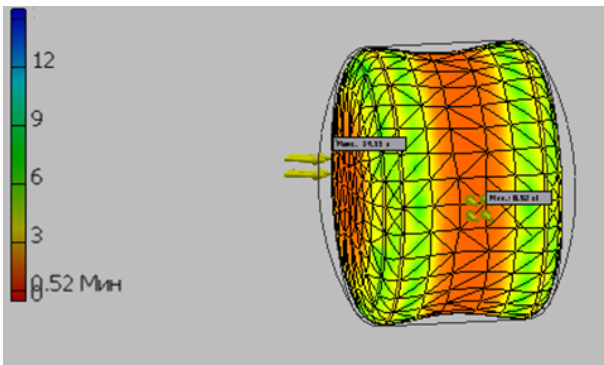


Рис. 5. Коэффициент запаса прочности

Для корпуса сферического типа из того же материала на отчетах (рис. 4...5) выделены наиболее опасные зоны, а также отображены максимумы и минимумы значений, взятых за основу в шкале оценки.

В качестве выводов по работе стоит отметить, что основными определяющими в виртуальных испытаниях стали показатели напряжения по фон Мизесу и значения коэффициента запаса прочности [8]. Результаты, проведенные в виртуальной среде и в реальных условиях (рис. 6), имеют одинаковую качественную картину мест критического разрушения.

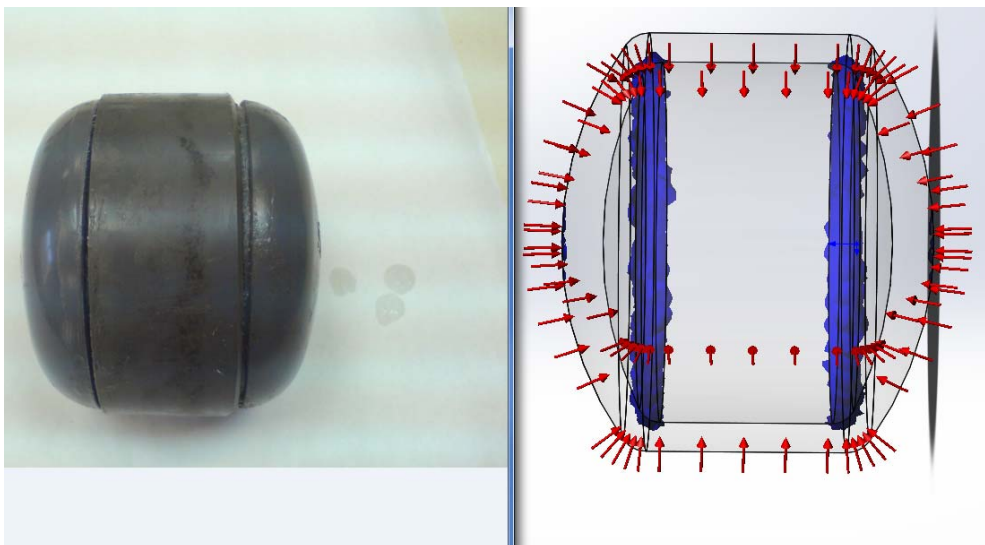


Рис. 6. Натурные и виртуальные испытания шаровидной оболочки

В реальных испытаниях оболочка разрывается при давлении в 5 атмосфер, а в виртуальных при 3,2 атмосфер. По результатам данного исследования, подтвердилось начальное предположение об эффективности использования САД систем для определения месторасположения критических участков для дальнейшего установления датчиков на внутреннюю часть корпуса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванюк, А.К.* Проектирование автоматизированной системы технологической подготовки производства корпусных деталей прибора связи [Электронный ресурс] / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // 65-я международная студенческая научно-техническая конференция, посвященная 85-летию со дня основания вуза (г. Астрахань, 13-17 апр. 2015 г.): матер. (секция «Информационные системы и технологии, автоматизация и управление») / Астраханский гос. техн. ун-т. - Астрахань, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. *Андреев, Г. Н.* Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства / Г. Н. Андреев, В. Н. Новиков, А. Г. Схиртладзе. - М.: Высшая школа, 2002. - 415 с.
3. *Капустин, Н. М.* Автоматизация машиностроения / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов. Под ред. Н. М. Капустина. - М.: Высшая школа, 2007. - 224 с.
4. *Иванюк, А.К.* Разработка новых подходов в методологии проектирования АСТПП / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // Сборник тезисов докладов по внутривузовскому смотрю-конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов (г. Волгоград, 12-15 мая 2015 г.) / ВолгГТУ, Совет СНТО. - Волгоград, 2015. - С. 23.
5. *Сердобинцев, Ю. П.* Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография / Ю. П. Сердобинцев, О. В. Бурлаченко, А. Г. Схиртладзе; ВолгГТУ. - Старый Оскол: ТНТ, 2013. - 410 с.
6. *Капустин, Н. М., Кузнецов П.М.* Формирование виртуальной производственной системы для выпуска изделий в распределенных системах / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов // Машиностроитель. 2002. № 6. С. 42-46.
7. *Колесов, И. М.* Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Колесов. - М.: Высшая школа, 1999. - 591 с.
8. *Иванюк, А.К.* К вопросу об интеграции САМ систем в АСТПП корпусных деталей прибора связи / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // Евразийский союз ученых. - 2014. - № 8 (часть 8). - С. 53-56.

УДК 658.5.012.2

И. А. Гущин, А. Р. Авдеев, А. А. Швец, А. В. Дроботов
ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА
ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ ПО ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Произведен анализ процесса преобразования объемной модели в управляющий код. Сделан обзор базового процесса поиска пересечений объемной модели с секущими плоскостями, определены его достоинства и недостатки. Рассмотрены способы его оптимизации. Приведены основные методы заполнения объемных фигур, определены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: технология объемной печати, метод послойного наплавления, STL, алгоритм расчета пересечений, заполнение модели, G-Code.

The analysis of 3D model conversion process in the control code identified. A review of the basic process of searching intersections in 3D model with the planes. The main methods of its optimization are showed, its advantages and disadvantages are identified. The basic methods of filling 3D models are presented and their advantages and disadvantages are identified.

Keywords: 3D printing technology, Fused Deposition Modeling (FDM), STL, algorithm for finding intersections, infill, G-Code.

Последнее время 3D печать набирает популярность и на данный момент применяется в различных отраслях: машиностроении, медицине, архитектуре, строительстве, рекламе, производстве пищи и т. д. Известно множество технологий печати, но наиболее широко используемой является метод послойного наплавления (FDM)[1]. Он является простым и наиболее дешевым, что обеспечило появление большого числа принтеров, работающих по данному

принципу. Программа для работы таких устройств как правило создается на этапе анализа объемной модели изделия. Однако известные алгоритмы, использующиеся при таком анализе, рассчитаны на применение только совместно со стандартными 3D принтерами, а появление устройств с расширенными возможностями [2], например, с дополнительными степенями свободы печатающей головки или координатного стола [3], приводит и к необходи-

мости расширения возможностей программ анализа объемных моделей и подготовки работы 3D принтера.

Большинство 3D принтеров создают изделие по слоям. На каждом слое происходят перемещения печатающей головки *FDM* принтера или лазера *SLS* принтера в горизонтальной плоскости (по осям *XY*) с нанесением рабочего материала (*FDM*) или спеканием слоев (*SLS*). После печати одного слоя происходит смещение по вертикали (по оси *Z*) на следующий слой, производится его печать и так далее. Все эти действия «планируются» специализированным программным обеспечением, ключевой функцией которого является «нарезание» модели изделия на слои [4], поэтому такие программы принято называть «слайсерами» (от англ. *slice* – нарезать). К ним относят *Slic3r*, *Skeinforge*, *Cura* и др. Обычно работа таких программ состоит из нескольких этапов, показанных на рис. 1.

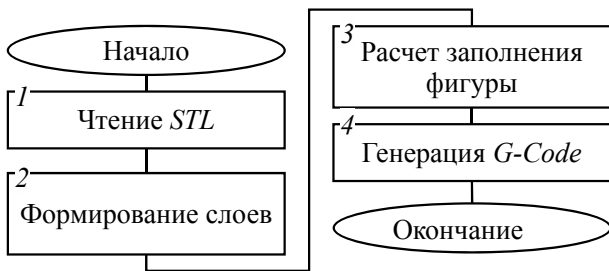


Рис. 1. Этапы преобразования объемной модели изделия в управляющий код для 3D-принтера

На первом этапе (рис. 1, блок 1) производится чтение из файла информации о детали. Основным форматом моделей, используемых в объемной печати, является *STL* (от англ. *stereolithography*) – формат файла, в котором поверхность трехмерной модели представляется в виде списка треугольных граней (фасетов)

и нормалей к ним. *STL*-файл может быть в текстовом формате или двоичном. Он поддерживается большинством программ трехмерного моделирования, является бесцветным и несет информацию только о поверхности объекта. Качество поверхности при этом зависит от количества фасетов, из которых состоит поверхность.

Следующим этапом работы «слайсеров» (рис. 1, блок 2) является нарезание модели на слои. Для этого создается множество плоскостей, параллельных плоскости *OXY* и имеющих различные координаты *Z*. Пересечение (рис. 2) каждой из этих плоскостей 2 с телом изделия 1 и образует печатаемый слой 3.

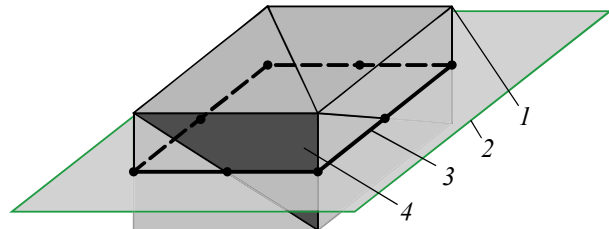


Рис. 2. Исходная модель, пересекаемая плоскостью

Рассмотрим пересечение отдельного фасета 4, выделенного на рис. 2. Каждая секущая плоскость представлена двумя векторами \vec{U} и \vec{V} и имеет нормальный вектор \vec{n} . Также всегда известно расстояние от секущей плоскости до плоскости *OXY* – *h*. С помощью радиус-векторов \vec{i} и \vec{j} , проведенных к вершинам фасета, возможно рассчитать расстояние от каждой из вершин до плоскости (рис. 3, а):

$$d_i = \vec{i} \cdot \vec{n} - h$$

$$\Delta d = \frac{d_i}{d_i - d_j}$$

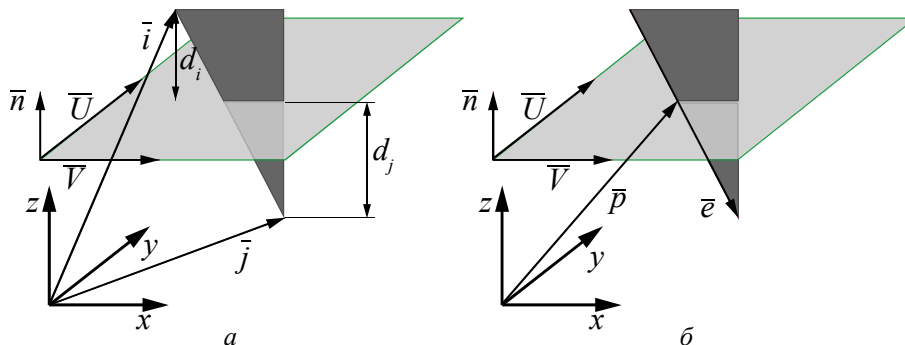


Рис. 3. Определение точек пересечения фасета плоскостью:

а – фасет, пересеченный плоскостью; б – определение вектора грани \vec{e} и радиус-вектора \vec{p} пересечения грани с плоскостью

Вектор грани \vec{e} может быть найден как разность двух векторов вершин. Далее, пользуясь основными векторными выражениями, а также свойством подобия треугольников рассчитываются пересечения каждой из граней фасета с плоскостью (рис. 3, б).

$$\vec{e} = \vec{j} - \vec{i}$$

$$\vec{p} = \vec{i} + \vec{e} \cdot \Delta d.$$

Повторяя действия, описанные выше для всех трех граней, получим линию, описанную радиус-векторами \vec{p} и \vec{q} , либо точку, если плоскость пересекает фасет только в одной вершине. Также может случиться, что плоскость вообще не пересекает фасет. Помимо этого, возможен случай, когда грань фасета параллельна нормальному вектору секущей плоскости [5]. После нахождения всех пересечений с секущей плоскостью, получим контур, показанный на рис. 2.

Подобный алгоритм довольно прост и не требует каких-либо дополнительных вычислений. Основным недостатком такого способа является его невысокая скорость, т. к. для каждой секущей плоскости требуется искать пересечения в каждом из фасетов, число которых может быть значительным.

Одним из простых способов оптимизации описанного выше алгоритма является предварительное определение группы фасетов, пересекаемых плоскостью. Для этого необходимо

из всех треугольников найти только те, у которых одна или две вершины находятся ниже (или выше) секущей плоскости.

Также возможно вычисление пересечений, когда каждый фасет представлен интервалом значений по оси Z . Вместо работы непосредственно с фасетами, данный алгоритм использует их интервалы, а также массив со значениями секущих плоскостей [6].

Каждый слой изделия состоит из периметра и/или заливки. Модель может иметь разный процент заполнения заливкой, также заливки может и не быть (пустотелая модель). Таким образом, следующим этапом работы «слайсеров» (рис. 1, блок 3) является заполнение каждого слоя. Существует множество способов заполнения (рис. 4), каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее часто используемыми являются: заполнение в виде пчелиных сот (для фигур требующих особую прочность) и линейное (наиболее быстрое и не имеющее большой потери устойчивости фигуры). Также следует обратить внимание, что для придания большей прочности на каждом слое заполнение следует поворачивать на 90° .

После окончания процесса заполнения формируется так называемый *G-Code* – набор команд для принтера, содержащий всю необходимую информацию о перемещениях печатающей головки и координатного стола, скорости подачи и т.д. (блок 4 на рис. 1).

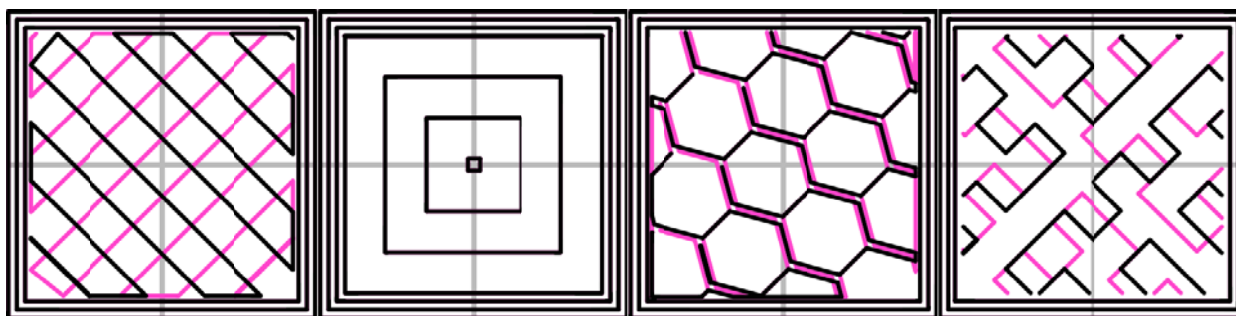


Рис. 4. Способы заполнения фигур: линейный, концентричный, пчелиные соты, кривые Гильберта

Многие программы с открытым исходным кодом, такие как *Slic3r* и *Cura* используют определенные модификации алгоритмов, описанных выше. Подобные алгоритмы могут быть тривиальны и медленны или наоборот, эффективны, но сложны.

В будущем возможно появление принтеров с веб-интерфейсами и предустановленными настройками «нарезания» модели. Такие принтеры станут такими же простыми в использова-

нии, как и обычные, печатающие на бумаге, но вместо документа для печати им понадобится, например, *STL* файл.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stratasys Ltd., FDM Technology. About Fused Deposition Modeling. 2014. URL: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology> (дата обращения: 10.09.2015).
2. Швец, А.А. Анализ устройств для изготовления деталей методом объемной печати / А.А. Швец, А.Р. Авдеев,

А.В. Дроботов // XIX региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 11-14 нояб. 2014 г.) : тез. докл. / редкол.: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ. - Волгоград, 2015. - С. 86-87.

3. Пушкарев, В.В., Дроботов, А.В. Компоновка устройств для объемной печати экструдированным расплавом деталей сложной формы // Известия волгоградского государственного технического университета, ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – С.121-123.

4. 3D Printing Industry. 3D Printing Processes: Free Be-

giner's Guide 3D Printing Industry. 2012. URL: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/> (дата обращения: 10.09.2015).

5. Rodrigo Gregori, Neri Volpato, Rodrigo Minetto and Murilo da Silva. Slicing Triangle Meshes: An Asymptotically Optimal Algorithm. 2014. URL: <http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/murilo/public/slicing.pdf> (дата обращения: 10.09.2015).

6. M. d. Berg. Computational Geometry: Algorithms and Applications / O. Cheong, M. v. Kreveld, and M. Overmars // 3rd ed. - Santa Clara, CA, USA: Springer-Verlag TELOS, 2008.

УДК 621.798.34

А. А. Ковалев, А. М. Макаров, М. Г. Кристаль, М. А. Лапиков

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСКРЫТИЯ, УДЕРЖАНИЯ И ЗАКРЫТИЯ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ВАКУУМНЫХ ЗАХВАТОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Для повышения быстродействия процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры разработана конструкция устройства, содержащего захватный механизм для захвата и раскрытия гибких контейнеров, а также удержания их при наполнении и закрытия для прошивки, что создает условия для комплексной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры. При этом упрощается конструкция захватного механизма и расширяются технологические возможности устройства. Захват гибкого контейнера широкой номенклатуры размеров осуществляется с внешней стороны, что позволяет увеличить диаметр загрузочного патрубка и повысить скорость наполнения контейнера, а также уменьшить загрязнение элементов захватного механизма.

Ключевые слова: захватный механизм, гибкий контейнер, автоматизация, расфасовка, быстродействие, вакуумные захваты.

The design of the device containing the gripping mechanism for capture and disclosure of flexible containers, and also their deduction when filling and closings for an insertion that creates conditions for complex automation of process of packaging of bulks in flexible containers is developed for increase of speed of process of packaging of bulks in flexible containers. Thus the design of the gripping mechanism becomes simpler and technological capabilities of the device extend. Capture of the flexible container of the wide nomenclature of the sizes is carried out from outer side that allows to increase diameter of a loading branch pipe and to increase the speed of filling of the container, and also to reduce pollution of elements of the gripping mechanism.

Keywords: gripping mechanism, flexible container, automation, packaging, speed, vacuum captures

В настоящее время все более остро стоит вопрос комплексной автоматизации расфасовочных операций, в частности, в области расфасовки сыпучих материалов в гибкую тару. Автоматизация данных операций является перспективным направлением разработок, так как позволяет значительно увеличить производительность расфасовки, а также вывести оператора из рабочей зоны при расфасовке взрывоопасных или сильнопылящих материалов.

Обзор существующих устройств [3-5, 8] показал, что задача комплексной автоматизации процесса расфасовки не была полностью решена. Существует ряд устройств, позволяющих осуществлять автоматическую загрузку сыпучего материала, однако операции замены гибкой тары на рабочей позиции производятся вручную. Также существуют устройства, позволяющие захватывать гибкую тару и пере-

мещать ее в позицию загрузки, однако наполненная тара в них перемещается в позицию хранения с открытой горловиной, что может привести к потере части материала. При этом часть устройств не способна осуществить надежный захват гибкой тары, что может привести к остановке всего производства.

В существующем устройстве для надевания мешков на загрузочный патрубок [1], содержащем вакуумный захват, неподвижно установленный на раме копир и закрепленную на рычаге с возможностью осевого перемещения подпружиненную тягу. Устройство позволяет захватывать мешок и надевать его на загрузочный патрубок расфасовочной машины. Однако недостатком устройства является отсутствие возможности закрывать верхнюю часть мешка после его наполнения, что делает невозможным полную автоматизацию процесса расфасовки.

Существует устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия мешков [7, 9], содержащее захватный механизм, состоящий из четырех рычажных звеньев и двух пневматических миницилиндров двухстороннего действия, попарно соединенных шарнирами, заодно с которыми установлены захваты в виде пальцев. Данное устройство позволяет захватывать, раскрыть мешок для наполнения сыпучим материалом, а также растягивать горловину наполненного мешка для прошивки. Однако использование рычажно-шарнирного механизма для захвата мешков снижает функциональность устройства, так как обеспечивает захват мешков только определенного диаметра. Также при захвате мешка пальцами рычажно-шарнирного механизма закрепление осуществляется в нескольких точках, что повышает риск разрыва и пластического деформирования его горловины.

Для устранения существующих недостатков предложена конструкция устройства (заявка на полезную модель №2014154558 от 31.12.2014, решение о выдаче патента № 155000) (рис. 1), состоящего из двух пневматических цилиндров 8, 19 одностороннего действия, заодно с кото-

рыми установлены вакуумные захваты 4, 5, 16, при этом захватный механизм на пневмоцилиндре 8 выполнен в виде четырех вакуумных захватов, закрепленных на рычаге 7, захватный механизм на пневмоцилиндре 19 выполнен в виде двух вакуумных захватов, закрепленных на рычаге 20, захват и раскрытие гибкого контейнера осуществляется за счет перемещения штоков пневмоцилиндров 9, 14, захватный механизм на пневмоцилиндре 8 выполнен с возможностью расположения в горизонтальной плоскости, при этом горловина гибкого контейнера растянута в линию, а при втянутых штоках пневмоцилиндров 8, 19 – в вершинах правильного четырехугольника по периметру горловины раскрытого гибкого контейнера.

Пневмоцилиндр 8 шарнирно установлен на раме 10 и выполнен с возможностью поворота вокруг оси, проходящей через центр пневмоцилиндра параллельно его основанию. Для этого на корпусе пневмоцилиндра 8 жестко закреплен стержень 11, шарнирно связанный со штоком поворотного пневмоцилиндра 12 двухстороннего действия, который также шарнирно установлен на раме 10.

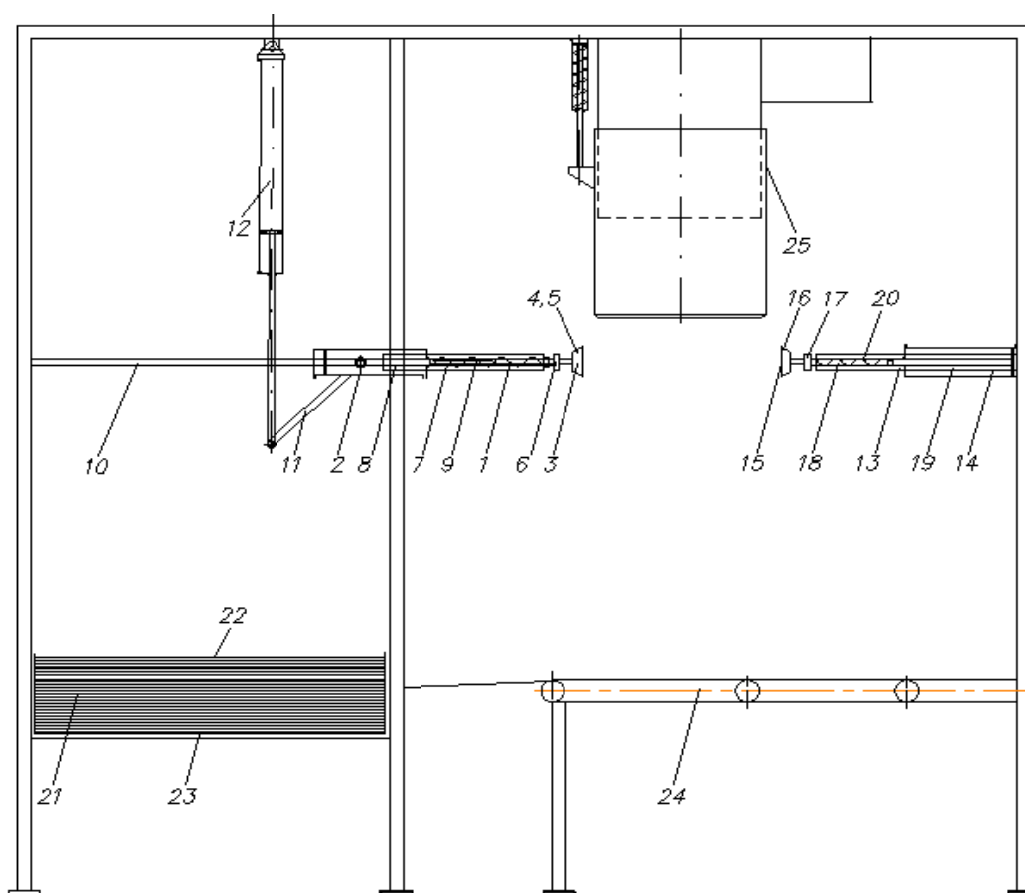


Рис. 1. Общий вид устройства

Стопа пустых, непрошитых с одной стороны гибких контейнеров 22 находится на подъемном столе 23 внутри рамы 10. Вакуумные захваты 4, 5, 16 соединены трубками с системой подачи воздуха, установлены на рычаге 7 с возможностью вертикального осевого перемещения, и на рычаге 20 с возможностью горизонтального перемещения. Лента транспортера 24 смонтирована на раме 10 и расположена под загрузочным патрубком 25, причем расстояние от ее поверхности до вакуумных захватов 4, 5, 16 меньше длины заполненного гибкого контейнера. Загрузочный патрубок 25, соединенный с дозатором, смонтирован на раме 10, выполнен с возможностью линейного вертикального перемещения.

При начале очередного цикла вакуумные захваты 4, 5 на пневмоцилиндре 8 посредством выдвижения штока пневмоцилиндра прижимаются к поверхности горловины гибкого контейнера, лежащего сверху в стопе контейнеров 22, после чего вакуумные захваты 4, 5 подключают к вакуумной системе. Перемещение вакуумных захватов 4, 5 в исходное положение приводит к отделению верхнего гибкого контейнера от стопы. Затем захватный механизм на пневмоцилиндре 8 при выдвижении штока пневмоцилиндра 12 поворачивается на 90 градусов в горизонтальное положение, выдвигается захватный механизм на пневмоцилиндре 19

и закрепляет свободную сторону горловины контейнера, крайние вакуумные захваты захватного механизма на пневмоцилиндре 8 отключаются от вакуумного насоса и отпускают края горловины, посредством одновременного втягивания штоков пневмоцилиндров 8, 19 раскрывается горловина гибкого контейнера, при этом осуществляется ее закрепление в четырех точках (рис. 2).

Загрузочный патрубок опускается внутрь горловины контейнера до уровня захватных механизмов. Начинается засыпка предварительно взвешенной дозатором порции продукта. По окончании засыпки загрузочный патрубок 25 поднимается в верхнее исходное положение, захватные механизмы закрывают горловину контейнера, втягивая штоки пневмоцилиндров 8, 19, и подготавливая гибкий контейнер для прошивки специальной прошивочной машиной, выполненной с возможностью перемещения в плоскости, перпендикулярной плоскости. После прошивки гибкий контейнер освобождается от вакуумных захватов 4, 5, 16 и, располагаясь на ленте транспортера 24, перемещается на пункт отгрузки (складирования), штоки пневмоцилиндров 8, 19 втягиваются. На этом цикл наполнения контейнера заканчивается. В это время подъемный стол 23 поднимается на одну позицию.

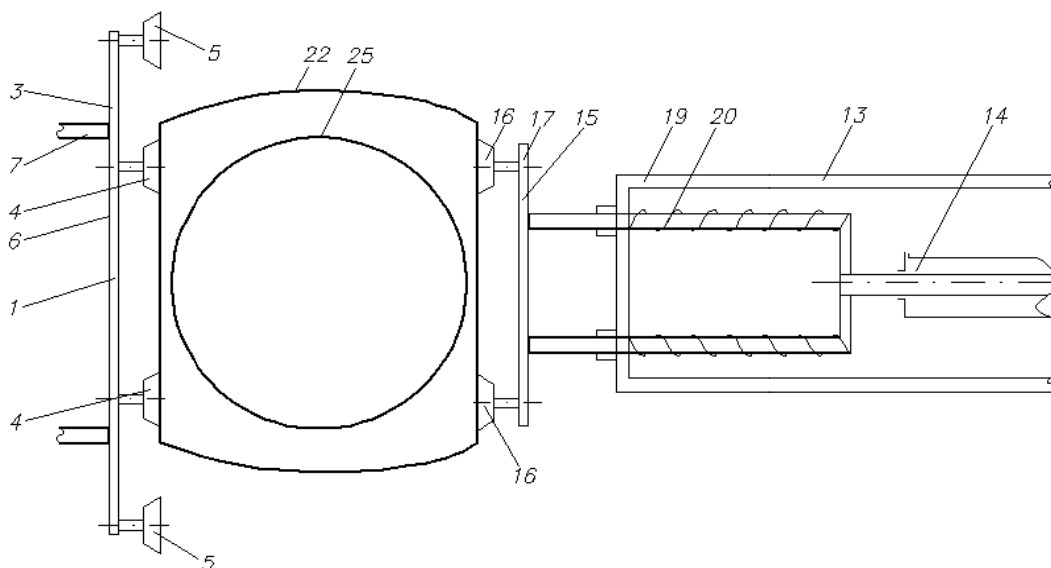


Рис. 2. Захватный механизм с гибким контейнером

Использование предлагаемого устройства по сравнению с имеющимися обеспечивает существенное расширение технологических возможностей за счет того, что оно снабжено захватным механизмом для удержания горлови-

ны гибкого контейнера. Захватный механизм смонтирован на пневмоцилиндрах, что обеспечивает открытие и удержание контейнера вакуумными захватами под загрузочным патрубком расфасовочной машины при наполнении. При

этом основание контейнера расположено на ленте транспортера, а загрузочный патрубок, выполненный с возможностью вертикального перемещения, в процессе расфасовки находится внутри контейнера, что позволяет обеспечить сохранность продукта. Все это повышает надежность устройства. В тоже время упрощается конструкция загрузочного патрубка, так как функции раскрытия и удержания контейнера выполняет захватный механизм. Кроме того, использование в качестве основного рабочего органа захватного механизма, приводимого в движение пневмоцилиндрами, позволяет осуществлять ряд дополнительных технологических операций с гибким контейнером, например, закрытие и растягивание его горловины в линию для прошивки. Таким образом, использование данного устройства создает условия для комплексной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры [2, 6, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1685792 СССР, МКИЗ В 65 В 7/00. Устройство для надевания мешков на загрузочный патрубок / А. Ф. Суворов, И. Н. Барышев [и др.] (СССР). – № 5027077/13 ; заявл. 29.07.91; опубл. 20.12.95.
2. Ковалев, А. А. Синтез пневматической системы управления устройством для автоматического наполнения гибких контейнеров / Ковалев А.А., Макаров А.М., Кухтик М.П. // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 21 (148). – С. 69 – 71.
3. Макаров, А. М. Автоматическая расфасовка сыпучих материалов в мягкую тару. Повышение эффективности процесса / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 128 с.
4. Makarov, A. M. Transfer Machine Line for Packaging Granular Materials in a Soft Open Container / A. M. Makarov, Y. P. Serdobintsev, M. P. Kuhtik // Journal of Applied Packaging Research (JAPR) / DEStech Publication, Inc, 2012. – Vol. 6, №4. – pp. 203–209.
5. Макаров, А. М. Синтез рычажно-шарнирных захватных устройств для манипулирования мягкой расфасовочной тарой / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 13 (100). – С. 117–119.
6. Макаров, А. М. Автоматизация процесса наполнения мягкой расфасовочной тары сыпучим материалом / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев // Современные проблемы науки и образования, 2011. – № 6; URL: www.science-education.ru/100-5113 (дата обращения: 27.08.2015).
7. Макаров, А. М. Исследование устройства для автоматического наполнения гибких контейнеров сыпучим материалом / Макаров А.М., Сердобинцев Ю.П., Сергеев А.С. // Известия ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 20 (123). – С. 114 – 117.
8. Макаров, А. М. Автоматизация наполнения гибких контейнеров сыпучими продуктами / Макаров А.М., Сердобинцев Ю.П., Крылов Е.Г. // СТИН. – 2014. – № 4. – С. 37 – 40.
9. Пат. 2469928 РФ, МПК В 65 В 7/02, В 65 В 5/00. Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия мешков / А. М. Макаров, Л. А. Рабинович, Ю. П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет; заявл. 31.05.2011; опубл. 12.20.2012.

УДК 621.91.02

Е. Г. Крылов, Н. В. Козловцева

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Предложено рассматривать многопараметрический контроль как совокупность формализованных операций, направленных на выявление состояния системы инструментального обеспечения металлорежущего станка и ее составляющих с целью повышения эффективности функционирования этой системы.

Ключевые слова: режущий инструмент, система инструментального обеспечения, формализация, контроль состояния.

It is proposed to consider multiparameter control as a set of formalized operations aimed at identifying the state of a cutting machine tool-associated system and its components for the purpose of this system efficiency upgrading.

Keywords: cutting tool, tool-associated system, formalization, condition control.

Для реализации задач импортозамещения в области станкоинструментальной промышленности (постановление Правительства РФ от 15.04. 2014, № 328) необходимым является раз-

работка новых научно-обоснованных методов проектирования структур процессов металлообработки с целью снижения расходов на покупку режущего инструмента и сокращения

времени на переналадку оборудования. Обеспечение конкурентоспособности предприятий, использующих автоматизированные линии и системы, требует применения не только современного высокотехнологичного оборудования и оснастки, но и новых организационных структур и подходов, которые позволят существенно сократить потери времени при выпуске новых видов продукции [1, 2, 3].

Конструкции современных режущих инструментов одного функционального назначения различаются структурной компоновкой и геометрическими параметрами режущих, корпусных и крепежных элементов, число вариантов которых может достигать нескольких сотен комбинаций. Исследованиями [4, 5, 6] установлено, что многие рекомендации по выбору рациональных режимов обработки, марки инструментального материала и типу режущего инструмента для обработки полимеров, композитов, керамики, высокопрочных и тугоплавких сплавов ограничены и зачастую требуют проверки и коррекции в конкретных технологических условиях.

Существуют различные методы контроля состояния режущего инструмента, каждый из которых использует свои частные показатели состояния инструмента [7]. К частным показателям можно отнести износ режущих кромок по задней и передней поверхностям, амплитуду и частоту вибраций, температуру в зоне обработки и др. Если для контроля состояния инструмента используется не один частный показатель, а несколько, то необходимо определить интегральный показатель контроля состояния режущего инструмента, учитывающий все частные показатели. Интегральный показатель состояния является определяющим для формирования решения о необходимости замены откатавшего (изношенного) инструмента.

Формирование интегральных показателей можно представить в виде следующих этапов:

1) выделение и ранжирование значимых технологических факторов (частных показателей состояния инструмента);

2) составление аналитических зависимостей, связывающих интегральный показатель работоспособности инструмента с выделенными технологическими факторами;

3) оценка возможного влияния рассматриваемого варианта структурно-компоновочного решения инструментальной системы станка на указанные технологические факторы;

4) расчет прогнозируемых значений интегрального показателя.

В качестве выходного интегрального показателя будем рассматривать сохранение инструментом режущей способности в течение заданного периода времени. Технологические факторы, т.е. аргументы, определяющие значения этого показателя, должны быть выбраны таким образом, чтобы ожидаемая степень влияния на них могла быть априорно определена. Следовательно, необходимо решить две ключевые задачи:

1) выделить наиболее существенные технологические факторы;

2) оценить значения тех факторов, которые не могут быть однозначно априорно вычислены.

Для решения этих задач следует использовать методы экспертных оценок. Суть их заключается в том, что создается группа из m экспертов, каждому из которых предлагается ранжировать от одного до n значимость технологических факторов. В результате составляется сводная анкета-матрица рангов (ее размерность $n \times m$), где каждый элемент x_{ij} представляет собой оценку (ранг) j -го фактора i -м экспертом. Эксперт может по своему усмотрению вводить дополнительные факторы, указывая их ранги и (или) исключать факторы из числа предложенных. Для оценки степени согласованности произведенного экспертами ранжирования вычисляется коэффициент конкордации:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 n^2 (n^2 - 1) - m \sum_{i=1}^m T_i}$$

$$S = \sum_{j=1}^n [\sum_{i=1}^m x_{ij} - (\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} / n)]^2; T_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n t_j (t_j^2 - 1),$$

где t_j – число связанных рангов, т.е. одинаковых оценок различных факторов каждым экспертом.

Если мнения всех специалистов полностью совпадают, то $W = 1$; при полном несовпадении мнений $W = 0$; таким образом, $0 < W < 1$.

Для оценки значимости вычисленных коэффициентов конкордации используется критерий Пирсона.

$$X^2 = S / \frac{1}{12} mn(n + 1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i.$$

В случае если значение X^2 оказывается больше табличного значения для распределения с числом степеней свободы $n-1$, то принято считать, что достигнутое совпадение мнений экспертов не случайно. Если эксперт приписал нескольким факторам одинаковые номера в шкале оценок, то их ранг в сводной анкете приравнивается к среднему их порядковых номеров, а следующие за ними факторы перенумеровываются так, чтобы ранг первого из них шел сразу за последним порядковым номером фактора из данной группы.

При рассмотрении конкретного варианта инструментальной системы значения некоторых факторов могут быть рассчитаны непосредственно. Остальные факторы могут либо задаваться в качестве исходных технических требований для разработчиков данной системы, либо определяться также с помощью экспертных оценок. В последнем случае экспертам предлагается независимо указать для конкретного фактора его ожидаемое значение. Затем минимальные и максимальные значения оценок отбрасываются, а для остальных находят среднее, которое и используют в дальнейшем.

На следующем этапе после того как из названных групп факторов выделены наиболее существенные и определены их значения, соответствующие анализируемому варианту инструментальной системы, необходимо установить зависимости между выделенными факторами и интегральным показателем. Важнейшим здесь является вопрос о форме искомой функциональной зависимости. Вид уравнения связи обычно определяют эмпирически, задаваясь тем или иным вариантом уравнения и определяя затем его адекватность с помощью статистических критериев. Обычно уравнения связи ищут в линейной форме, если же искомая функциональная зависимость по своей природе является нелинейной, то следует рассмотреть ее разложение в степенной ряд. Для того чтобы найти коэффициенты в уравнениях связи необходимо выполнить математическую обработку данных ряда эмпирических наблюдений по методу завода-лет (объекто-периодов). Согласно этому методу собираются данные по каждому производству из группы подобных за несколько лет, и ежегодные данные рассматриваются в качестве отдельных статистических выборок.

Многопараметрический контроль (МПК) будем рассматривать как совокупность процедур, направленных на выявление работоспо-

собного состояния инструментальной системы металлорежущего станка. Систему МПК представим в виде совокупности взаимосвязанных аппаратно-программных средств, обеспечивающих автоматизацию процессов приема исходной информации от датчиков контроля состояния режущего инструмента в процессе обработки деталей на металлорежущих станках, обработку этой информации и выдачу результатов обработки производственному персоналу.

Процедура определения интегрального показателя работоспособности сборных режущих инструментов со встроенными датчиками контроля состояния в условиях функционирования системы МПК сводится к следующим действиям:

1) все инструменты, предусмотренные в выбранном варианте инструментальной системы ранжируются и определяется наличие или отсутствие взаимозависимости их работоспособности;

2) определяются и нумеруются каналы системы многопараметрического контроля инструмента;

3) для каждого режущего инструмента указываются данные:

– номера каждого инструмента в инструментальной системе и в j -ом канале системы контроля;

– наработка на отказ и среднее время замены γ -го инструмента, а также параметры, характеризующие законы распределения этих величин (математическое ожидание, дисперсия и др.)

– длительность и периодичность контроля состояния инструмента;

– среднее время выполнения i -ой операции γ -ым инструментом;

– вероятность отказа конкретного инструмента за заданное время;

– вероятность того, что данный отказ обнаруживается частичным контролем состояния инструмента;

4) устанавливается последовательность проверки режущих инструментов при очередном цикле контроля;

5) с помощью высказывательных форм составляется формализованное описание работоспособности каждого инструмента с учетом его расположения в каналах МПК и принятой последовательности проверки;

6) задается и варьируется при моделировании периодичность контроля;

7) прогнозируются моменты наступления отказов и замены отдельных инструментов;

8) вычисляется интегральный показатель работоспособности для каждого инструмента и определяется работоспособность инструментальной системы в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов, Е. Г. Рациональный выбор режущего инструмента в автоматизированном производстве / Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев // Автоматизация и современные технологии. - 2014. - № 10. - С. 3-6.
2. Крылов, Е. Г. Формализация процедуры многокритериального выбора режущего инструмента в АСПП / Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев // СТИН. - 2015. - № 3. - С. 5-9.
3. Крылов, Е. Г. Автоматизация организационно-технологической подготовки режущего инструмента / Е. Г. Крылов, А. М. Макаров, Н. В. Козловцева // Известия

Волгоградского государственного технического университета. - 2015. - № 1 (156). - С. 59-61.

4. Крылов, Е. Г. Автоматизированная система контроля состояния режущего инструмента при резании труднообрабатываемых материалов / Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев, Н. В. Козловцева // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2013. - № 10. - С. 47-51.

5. Крылов, Е. Г. Контроль предельного состояния многолезвийного твердосплавного инструмента / Е. Г. Крылов, А. С. Сергеев // Контроль. Диагностика. - 2014. - № 10. - С. 30-35.

6. Крылов, Е. Г. Прогнозирование предельного состояния многолезвийного твердосплавного инструмента / Е. Г. Крылов, А. В. Белова // Вестник машиностроения. - 2014. - № 3. - С. 71-75.

7. Крылов, Е. Г. Многолезвийные режущие инструменты: монография. Saarbruecken (Germany) : Lap Lambert Academic Publishing, 2014. - 170 с.

УДК 621.783.223:681.515.3

М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, М. А. Круглов

НАСТРОЙКА РОБАСТНОГО РЕГУЛЯТОРА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Рассмотрена методика определения варьированной АЧХ замкнутого контура на основе использования функции чувствительности. С помощью данной методики получены робастные значения коэффициентов настройки интегральных регуляторов зон методической печи.

Ключевые слова: методическая печь, робастный регулятор, функция чувствительности, коэффициент настройки.

Determination technique of varied amplitude-frequency response for closed loop in terms of sensitivity function use has been considered. Robust values of tuning coefficients for integral controllers of continuous furnace zones have been obtained by means of this technique.

Keywords: continuous furnace, robust controller, sensitivity function, tuning coefficient.

В процессе работы методических нагревательных печей действует множество факторов, оказывающих возмущающее воздействие на процесс нагрева заготовок [1, 2]. Условия нагрева остаются постоянными в течение небольших отрезков времени. К возмущающим факторам относятся [3 – 5]:

- различные геометрические размеры заготовок, температуры посадки заготовок, марки стали, профили проката;

- изменения производительности печи (темпа выдачи заготовок, скорости продвижения металла);

- изменения теплотехнических параметров печи (коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и коэффициент излучения кладки, коэффициент теплоотдачи стали и кладки);

- плановые и аварийные простои;

- колебания давления топлива и воздуха в за-

водских магистралях;

- изменения качества или калорийности топлива;

- подсосы холодного воздуха;

- выбивания продуктов сгорания через окна и неплотности печи;

- аварийные ситуации.

Применяющиеся в настоящее время для управления процессом нагрева заготовок в методических печах регуляторы (релейные регуляторы и регуляторы, использующие традиционные линейные законы регулирования) не всегда могут справиться с поставленными перед ними задачами управления. Поэтому большое значение имеет использование робастных регуляторов, одной из главных особенностей которых является возможность нормальной работы в условиях неопределенности и действия возмущений.

Определим робастные коэффициенты настройки интегральных регуляторов первой сварочной зоны методической печи стана 2000 ЗАО «ВМК «Красный Октябрь». При экспериментальном определении комплексной частотной характеристики (КЧХ) объектов оценка каждого ее вектора обычно осуществляется с погрешностью ΔA_{μ}^{\max} , для которой известен только ее модуль; иначе говоря, конец оцениваемого вектора $W_{\mu}(j\omega)$ может располагаться в пределах окружности радиуса ΔA_{μ}^{\max} с центром в конце вектора, найденного из эксперимента. В этом случае при оценке робастности системы достаточно оперировать с модулем КЧХ $\Phi(j\omega)$, изменение которого непосредственно определяется вариациями заданной КЧХ разомкнутого контура $W_{p.c.}(j\omega)$ [7]:

$$\Delta|\Phi(j\omega)| = V_{\max}(\omega)\Delta A_{\mu}^{\max}, \quad (1)$$

где

$$V_{\max}(\omega) = \sqrt{V_P^2(\omega) + V_Q^2(\omega)} |W_p(j\omega)|, \quad (2)$$

где $V_{\max}(\omega)$ – функция чувствительности, характеризующая количественное изменение свойств системы, вызванное изменением свойств отдельных ее элементов, $V_P(\omega)$ и $V_Q(\omega)$ – функции чувствительности вариаций вещественной ($\Delta P(\omega)$) и мнимой ($\Delta Q(\omega)$) составляющих КЧХ соответственно [7]:

$$V_P(\omega) = \frac{\partial|\Phi(j\omega)|}{\partial P(\omega)}, \quad V_Q(\omega) = \frac{\partial|\Phi(j\omega)|}{\partial Q(\omega)}, \quad (3)$$

$W_p(j\omega)$ – КЧХ регулятора.

Варьируемая амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) замкнутого контура складывается из суммы АЧХ и ее вариации соответственно [7]:

$$A_{\text{вар}}(\omega) = A(\omega) + \Delta A(\omega), \quad (4)$$

$$A(\omega) = \left| \frac{W_{\mu}(j\omega) \cdot W_p(j\omega)}{1 + W_{\mu}(j\omega) \cdot W_p(j\omega)} \right|, \quad (5)$$

$$\Delta A(\omega) = V_{\max}(\omega)\Delta A_{\mu}^{\max}. \quad (6)$$

После определения максимума варьированной АЧХ замкнутого контура и варьированного значения частотного показателя колебательности $M_{\text{вар}}$ найдем новое робастное значение коэффициента передачи И-регулятора $k_{\text{п}}$ для этого случая по известной методике [6, 7].

Выполним расчеты по приведенным выше формулам в среде *MathCAD*. Допустим, что принятая в расчете КЧХ объекта может иметь на всех частотах максимальную погрешность

$\Delta A_{\mu}^{\max} = 0,1$. Ранее [6] была получена КЧХ первой сварочной зоны $W_{\mu}(j\omega)$, задано значение частотного показателя колебательности $M = 1,8$ и определено максимально допустимое значение коэффициента передачи по этому показателю $k_{\text{п}} = 0,218$.

На рис. 1 построены варьированная АЧХ замкнутого контура (сплошная кривая) и неварьируемая АЧХ контура (пунктирная кривая). Вычисленное ранее значение показателя колебательности $M = 1,8$ изображено штрихпунктирной прямой. Как видим, резонансный пик возрос до значения 2,32, т.е. оказался больше требуемого на 0,52. Значит, расчет функции чувствительности необходимо выполнить повторно со значением $M = 1,8 - 0,52 = 1,28$. Определим значение коэффициента $k_{\text{п}}$, заново построив на одной плоскости КЧХ разомкнутого контура и M -окружность. Робастное значение коэффициента оказалось равным 0,161.

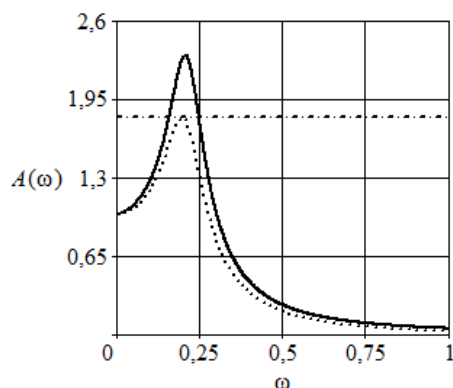


Рис. 1. Варьируемая и неварьируемая АЧХ замкнутого контура

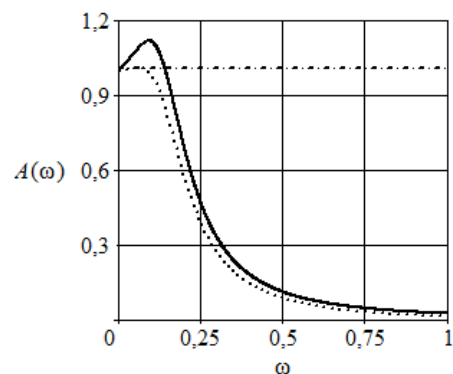


Рис. 2. Уточненные АЧХ замкнутого контура

Повторим проверку значения варьированного показателя колебательности. Превышение нового значения над предыдущим составляет 0,27. Значит, расчет функции чувствительности необходимо выполнить повторно со значением

$M = 1,28 - 0,27 = 1,01$. Новое робастное значение коэффициента передачи И-регулятора оказалось равным 0,106. Еще раз повторим проверку значения варьированного показателя колебательности (рис. 2). Превышение нового значения над предыдущим составляет 0,1, его можно считать несущественным. Найденная настройка регулятора считается окончательной.

Повторим описанные выше операции для регуляторов второй сварочной и томильной зон. Робастные значения коэффициентов настройки равны 0,118 и 0,112 соответственно. Регуляторы зон методической печи, обладающие свойством робастности, обеспечивают гарантированный нагрев заготовок в условиях посада, разнородного по начальному тепловому состоянию и маркам стали, и при учете меняющихся со временем теплотехнических параметров печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сердобинцев, Ю. П. Выбор комплексного критерия оптимизации процесса нагрева в методической печи / Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик, К. Ф. Куадио // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 9 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 7 (110). – С. 111-113.

2. Serdobintsev, Y. P. Algorithm of optimal modes calculation for slab heating in a continuous furnace / Y. P. Serdobintsev, M. P. Kukhtik // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2014. – No. 2. – Mode of access : <http://www.science-sd.com/457-24551>

3. Сердобинцев, Ю. П. Efficient Batching Algorithm for Charging Slabs into a Continuous Furnace / Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик, А. М. Макаров // Metallurgist. – 2014. – Vol. 58, No. 1-2 (May). – С. 125-129.

4. Кухтик, М. П. Алгоритм оптимизации процесса нагрева слябов в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 8 (135). – С. 73-75.

5. Кухтик, М. П. Методика учета воздействия простоя на процесс нагрева слябов в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 21 (148). – С. 80-82.

6. Оценка запаса устойчивости системы управления методической печью по частотному показателю колебательности / М. П. Кухтик [и др.] // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – № 1 (156). – С. 61-63.

7. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления : учебник для вузов / В. Я. Ротач. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.

УДК 629.3.023.27.001.63:004.42

О. В. Мушкин, Н. Д. Николаева, В. М. Труханов

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ И ВЫВЕШИВАНИЯ ПЛАТФОРМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Для оптимизации системы горизонтирования и вывешивания платформ различных машин разработана программа расчета основных параметров горизонтирования: скорость стягивания аутригеров и ширина зоны нечувствительности порогового элемента. Данная программа выполнена на основе созданного алгоритма по расчету заданных параметров платформы.

Ключевые слова: горизонтирование, вывешивание, аутригер, скорость стягивания, зона нечувствительности, статическая точность, быстроедействие.

To optimize the system of leveling and hanging platforms of different machines developed a program for calculating the basic parameters of leveling: the speed and width of retracting the outriggers deadband threshold element. This program is made on the basis of an algorithm for the calculation of the set parameters of the platform.

Keywords: leveling, hanging, Outrigger, retraction speed, the dead zone, the static accuracy, speed.

В настоящее время существует большое количество различных машин имеющих платформу с выносными аутригерами. Можно выделить две группы таких машин:

1. строительные машины;

1.1 автокраны, краны-манипуляторы и самоходные грузоподъемные краны на пневмоходу;

1.2 сваезавинчивающие и бурильные машины;

1.3 автовышки;

2. военная техника;

2.1 тактические ракетные комплексы;

2.2 реактивные системы залпового огня;

2.3 зенитно-ракетные комплексы;

2.4 радиолокационные комплексы и средства РЭБ России.

При этом очень часто возникает необходимость вывешивания и горизонтирования плат-

формы таких машин. При построении систем вывешивания и горизонтирования могут использоваться различные подходы.

Измерение отклонения платформы от горизонтального положения может производиться визуально (при помощи отвеса или пузырькового уровня), либо при помощи системы определения ориентации в пространстве (СОИ), которая, в свою очередь, может являться частью более сложной бортовой информационно-навигационной системы.

Для осуществления горизонтирования в принципе могут использоваться различные приводы, но чаще всего это приводы гидравлические. Управление приводами в процессе горизонтирования может осуществляться как

вручную с визуальным контролем, так и автоматически с использованием информации от СОИ. Автоматический вариант может быть значительно более точным и быстрым, обеспечивающим коррекцию положения в ходе использования платформы, однако для этого требуется значительно более сложная и дорогая система управления, использующая эффективные алгоритмы горизонтирования [1].

В настоящее время устройства автоматического горизонтирования платформ машин отсутствуют. Для сокращения времени разработки и повышения качества таких устройств необходима система автоматизации проектирования (САПР) параметров системы горизонтирования и вывешивания платформы машины.

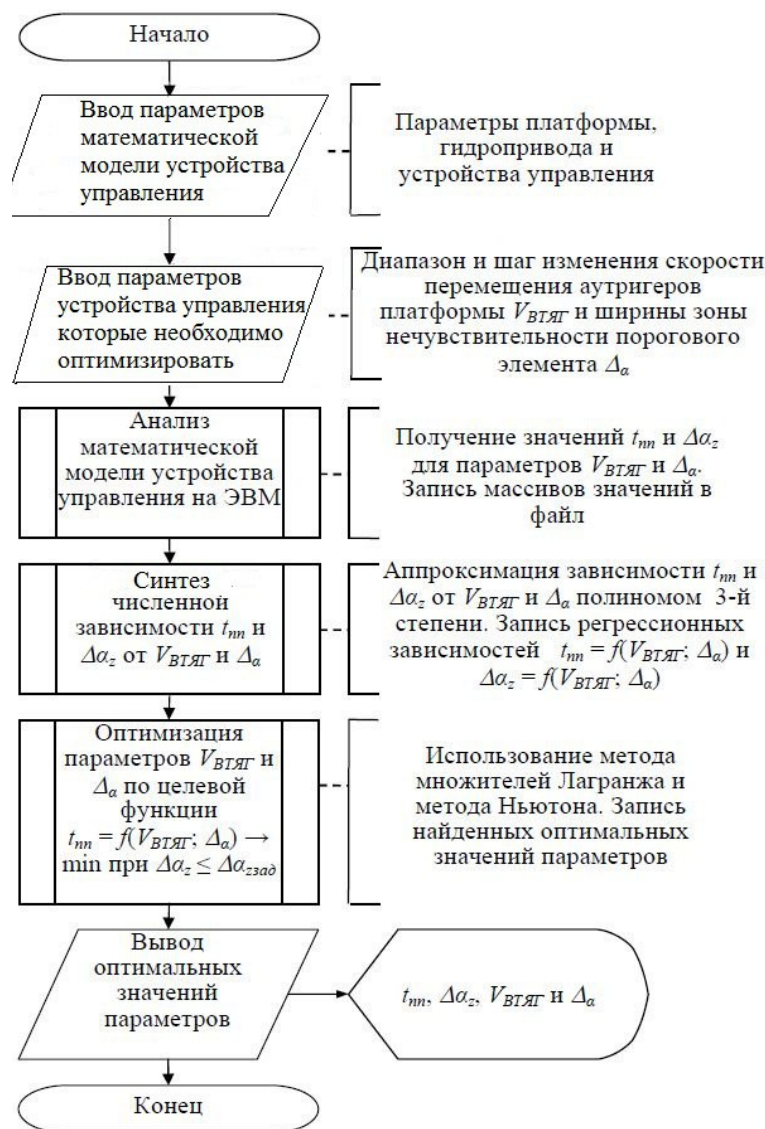


Рис. 1. Алгоритм расчета параметров горизонтирования платформы

При разработке системы вывешивания и горизонтирования возникает проблема синтеза ее

оптимальных параметров. Такие проблемы невозможно решать без применения вычисли-

тельной техники, так как оптимизация параметров устройства управления является сложным вычислительным процессом. Внедрение САПР в машиностроительной отрасли позволяет существенно облегчить поиск оптимальных технических решений.

Целью данной работы является разработка САПР параметров системы вывешивания и горизонтирования машин с выносными аутригерами.

Для выполнения поставленной задачи разработан алгоритм расчета основных параметров горизонтирования (рис. 1), в котором указаны исходные параметры расчетов, получение результатов для оптимизации работы системы проектирования, а также создать зависимость между результатами расчетов и влияние их на процесс вывешивания и горизонтирования [2].

Данная программа создана в среде программирования *Delphi* и основана на расчете домкратов – основных элементов системы горизонтирования и вывешивания, поэтому оптимизация вывешивания и горизонтирования является дополнением к основным расчетам домкратов на прочность, устойчивость, износостойкость и надежность.

Оптимизация параметров вывешивания платформы состоит в том, что необходимо вычислить скорость втягивания аутригеров $V_{\text{втяг}}$, ширину зоны нечувствительности порогового элемента $\Delta\alpha$. Для вычисления основных параметров горизонтирования платформы также необходимы исходные данные платформы и параметры установки управления. Далее показаны основные окна для оптимизации расчетов системы горизонтирования и вывешивания [3].

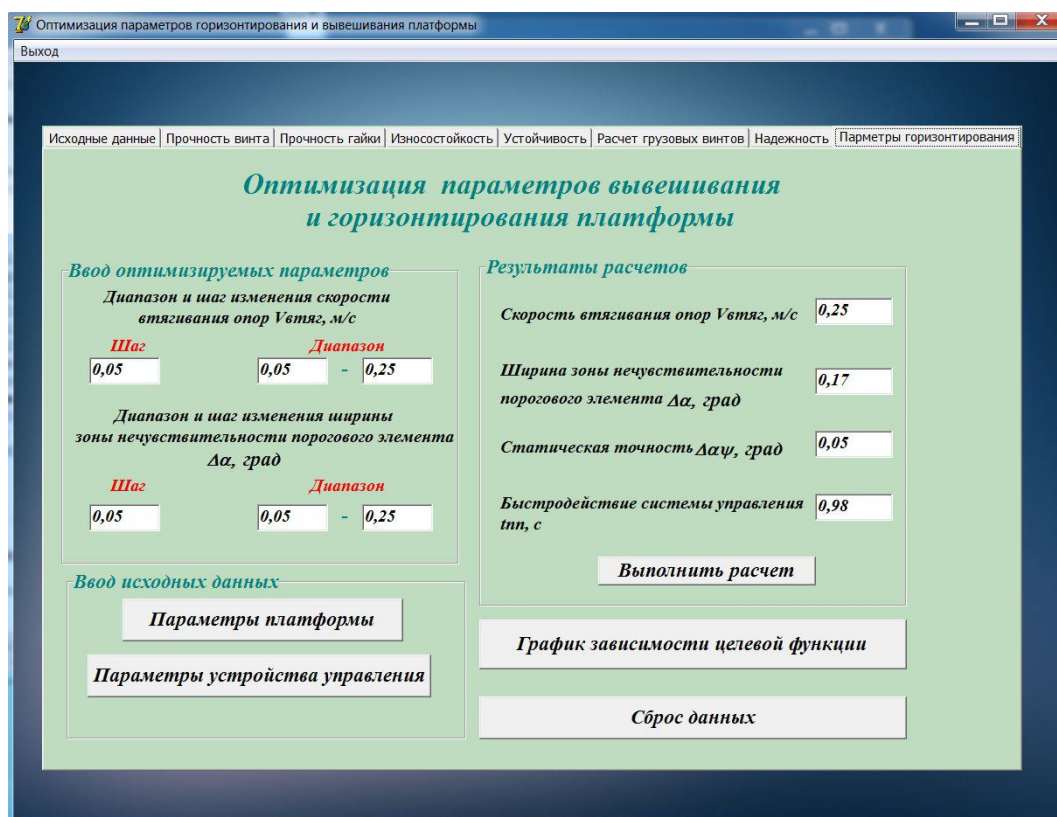


Рис. 2. Главное окно расчетов параметров горизонтирования и вывешивания платформы

На главном окне (рис. 2) располагаются три основных поля: ввод оптимизируемых параметров, ввод исходных данных, на котором есть переходы на дополнительные окна, в следующем поле показываются результаты расчетов после нажатия кнопки «Выполнить расчет». Также в данной вкладке можно вывести в отдельном окне график зависимости целевой

функции, нажав соответствующую кнопку, и сбросить данные для нового расчета. Окно «Параметры платформы» (рис. 3) представляет собой базовое изображение горизонтируемой платформы с выдвинутыми аутригерами, а также исходные данные платформы для дальнейшего расчета параметров [4].

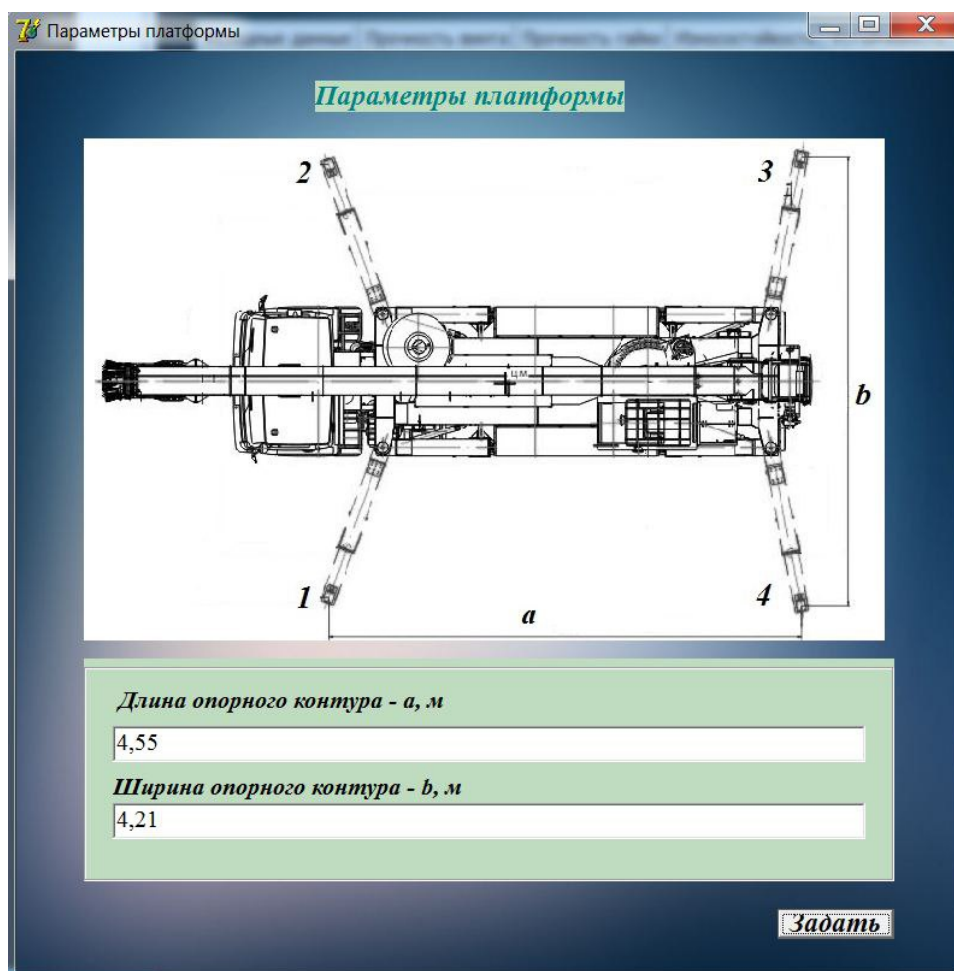


Рис. 3. Дополнительное окно «Параметры платформы»

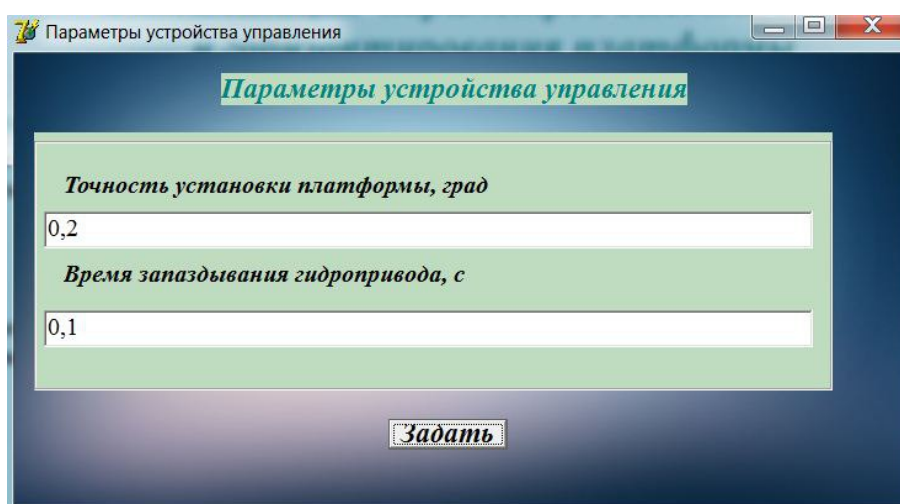


Рис. 4. Дополнительное окно «Параметры устройства управления»

Для ввода следующих исходных данных необходимо нажать кнопку «Параметры устройства управления» и откроется следующее окно (рис. 4) с одноименным названием. В нем необходимо ввести точность установки и время запаздывания гидропривода для необходимого

расчета основных параметров.

Следующее дополнительное окно (рис. 5) выводит график зависимости быстродействия системы $t_{\text{пн}}$ от скорости втягивания аутригеров $V_{\text{втяг}}$ и ширины зоны нечувствительности порогового элемента $\Delta\alpha$ [5].

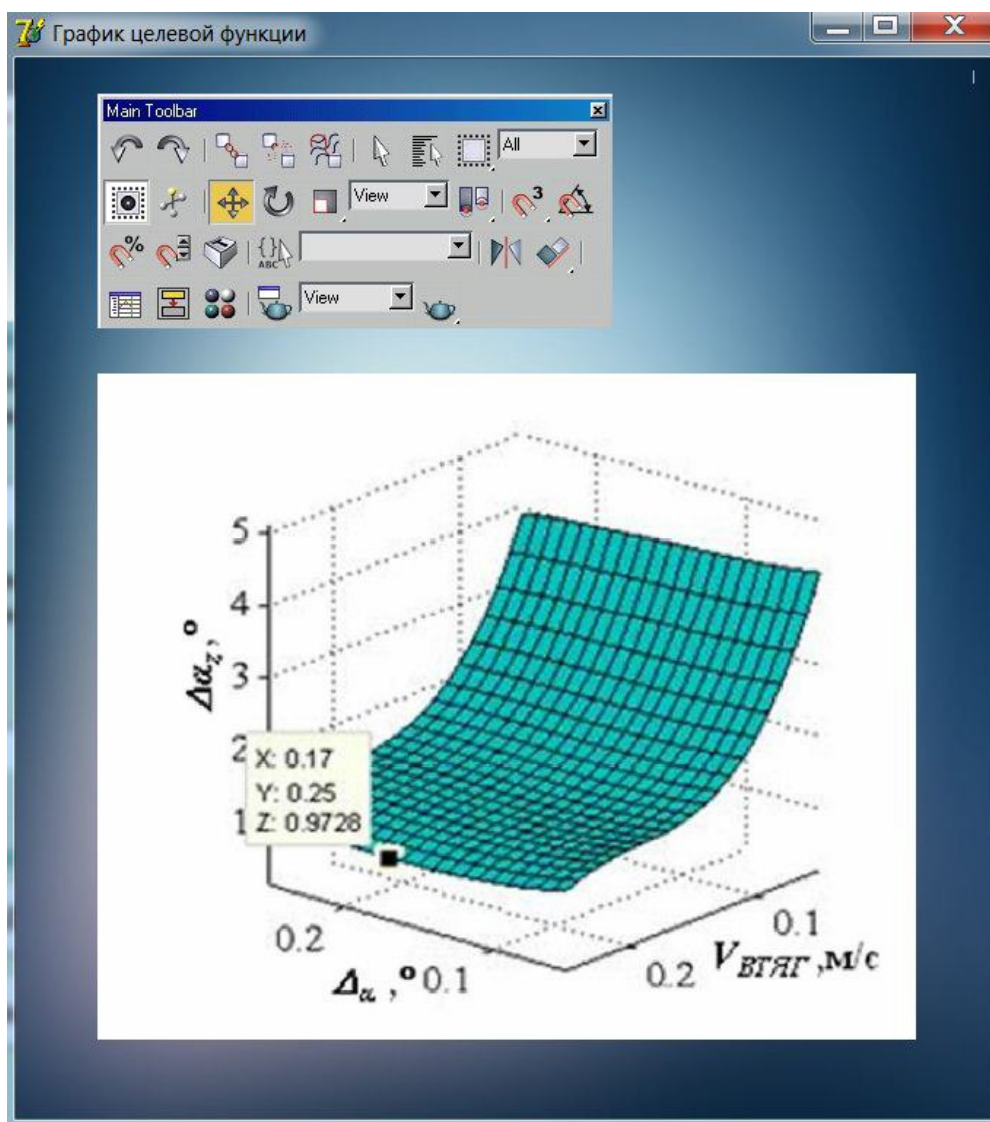


Рис 5. Дополнительное окно «График зависимости целевой функции»

Данная система автоматизированного проектирования позволяет обеспечить точный подбор ауригеров и домкратов для оптимального процесса вывешивания и горизонтирования платформ любых видов машин. Программа позволяет также сократить время проектирования таких сложных и ответственных систем. Данной программой может пользоваться как студент в учебных целях, так и опытный проектировщик в конструкторском бюро, она проста в использовании и эффективна на примере выполненных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беляев В. В.* Основы оптимизационного синтеза при проектировании землеройно-транспортных машин / В. В. Беляев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: ОТИИ, 2006. – 143 с.
2. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной платформы / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев. – Омск: СибАДИ, 2011. – 118 с.
3. *Труханов, В.М.* Новый подход к обеспечению надежности сложных систем / В.М. Труханов. – Москва: Машиностроение, 2010. – 246 с.
4. *Пантелеев А. В.* Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.
5. *Труханов, В. М.* Надежность и испытания систем вооружения / В. М. Труханов. – Москва: Машиностроение, 2009. – 520 с.

УДК 621.757:519.87

С. Г. Поступаева, И. Е. Грязнов

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА В ЗДАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Рассмотрена модель нечеткого автоматического регулирования кондиционером воздуха в здании. Произведена содержательная постановка задачи на моделирование, сформулированы правила для построения базы нечетких лингвистических правил, предложены результаты симуляции модели.

Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткий вывод, лингвистические правила.

The article considers the model of fuzzy automatic regulation of the air conditioner in the building. Produced meaningful formulation for modeling, formulated rules for building a base of fuzzy linguistic rules, the proposed results of the simulation model.

Keywords: fuzzy logics, fuzzy output, linguistical rules.

На современном этапе развития классической теории автоматического управления существует ярко выраженная тенденция увеличения сложности математических и формальных моделей реальных систем и процессов регулирования. Это связано со стремлением повысить их адекватность и учесть все большее число различных факторов, оказывающих влияние на работу системы.

В подобных случаях наиболее целесообразно воспользоваться такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных [1]. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования оказывается наиболее конструктивной.

В качестве примера системы нечеткого вывода в задачах регулирования рассматривается модель нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в здании.

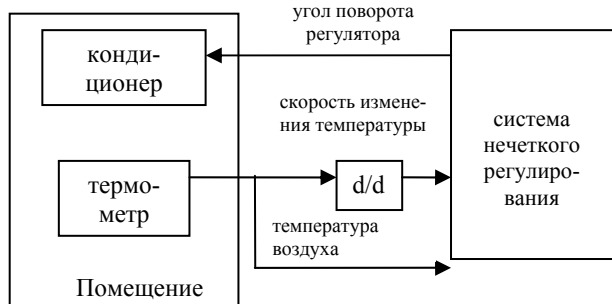


Рис. 1. Модель нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в помещении

В здании установлен бытовой кондиционер, который охлаждает или нагревает воздух в этом здании. Наиболее комфортные условия в здании создаются при некоторой стабильной температуре воздуха. Поскольку температура ок-

ружающей среды вне здания изменяется в течение суток и в большой степени зависит от внешних погодных условий, все это дестабилизирует температуру воздуха в здании и приводит к необходимости ручной регулировки режима работы бытового кондиционера. Задача состоит в том, чтобы сделать регулировку кондиционера автоматической, обеспечивая постоянную температуру воздуха в здании. Модель нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в здании приведена на рис. 1.

В качестве алгоритма нечеткого вывода используется алгоритм Мамдани [2].

Практика использования бытовых кондиционеров показывает, что процесс охлаждения или нагревания воздуха в здании обладает некоторой инерционностью. А именно, после включения режима «холод» происходит нагнетание холодного воздуха, в связи с чем температура воздуха в помещении постепенно падает. При этом в момент отключения этого режима температура продолжает падать в течение небольшого, но конечного промежутка времени. Аналогичная картина наблюдается при включении и отключении режима «тепло». Предположим, что в рассматриваемой модели кондиционера включение режима «холод» осуществляется поворотом регулятора влево, включение режима «тепло» осуществляется поворотом регулятора вправо относительно некоторой точки, в которой кондиционер выключен.

В качестве выходного параметра рассматривается не только температура воздуха в помещении, но и скорость ее изменения. С учетом этого составляются эвристические правила, которые применяются в случае ручного регулирования температуры воздуха в помещении с кондиционером:

– если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на очень большой угол влево;

– если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево;

– если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на большой угол влево;

– если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то кондиционер следует выключить;

– если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на очень большой угол вправо;

– если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить ре-

жим «тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо;

– если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на большой угол вправо;

– если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры положительная, то кондиционер следует выключить;

– если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на большой угол влево;

– если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево;

– если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на большой угол вправо;

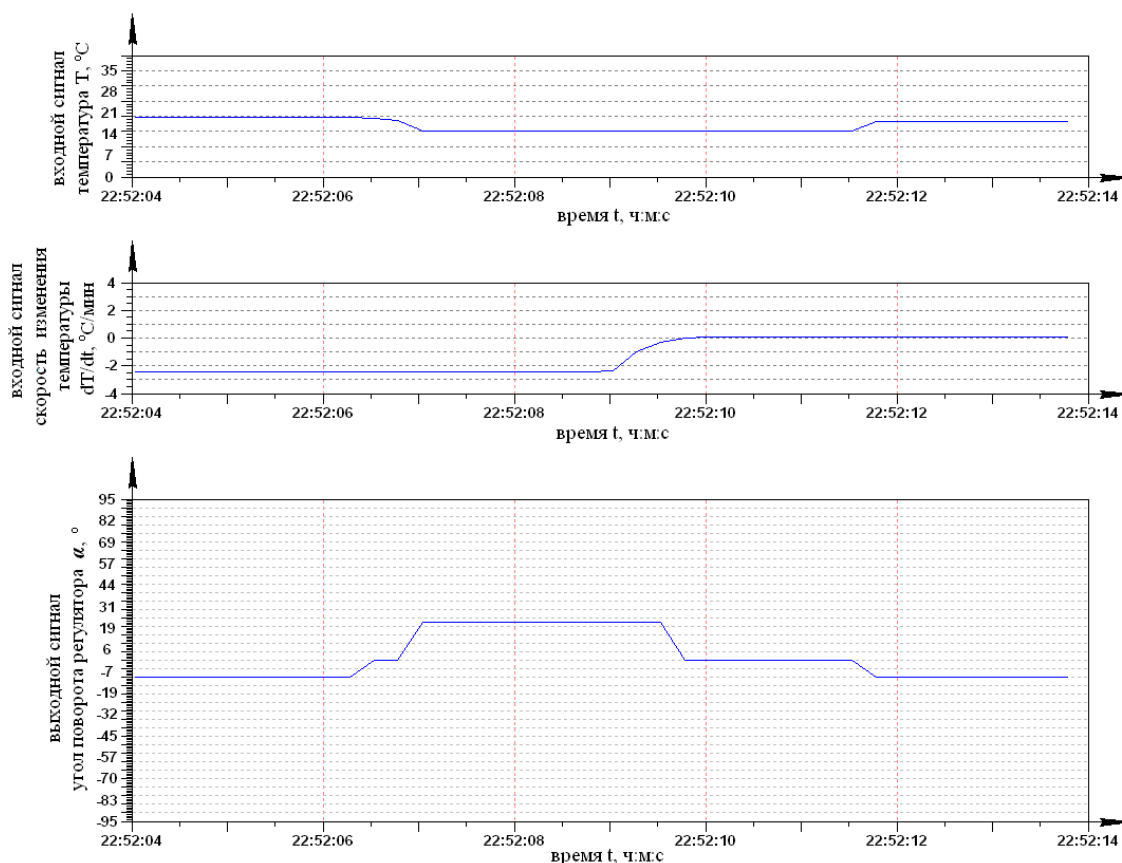


Рис. 2. Результаты симуляции

– если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо;

– если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево;

– если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо;

– если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры равна нулю, то кондиционер следует выключить.

Эта информация используется при построении базы правил системы нечеткого вывода,

которая позволяет реализовать рассматриваемую модель нечеткого регулирования [3].

Частичная реализация системы регулирования кондиционером воздуха на языке *CFC*, в основе которой лежит механизм нечеткого вывода Мамдани, представлена в работе [3]. На рис. 2 приведены результаты симуляции рассматриваемой модели нечеткого регулирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блюмин С. Л., Шуйкова И. А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности: Монография / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 139 с.
2. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
3. Поступаева С. Г., Грязнов И. Е. Построение нечеткой модели регулирования кондиционированием воздуха в помещении / С. Г. Поступаева, И. Е. Грязнов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. Т. 11. № 8 (135) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – С. 81–85.

УДК 62-529

Я. А. Сабо, А. М. Макаров, И. В. Волков, Д. Д. Ермишов

РОБОТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Для решения задачи полной автоматизации процесса переработки органических отходов разработана роботизированная система на базе ферментерного устройства, состоящего из биореактора, устройства подготовки и подачи воздуха, портального робота с датчиками температуры и влажности и системы управления. Использование предлагаемого устройства по сравнению с существующими аналогами позволяет добиться более высокого качества выходного материала, снизить долю брака, повысить степень автоматизации и облегчить труд персонала предприятия. Все это повышает скорость переработки органических отходов и увеличивает экономическую эффективность процесса.

Ключевые слова: ферментерное устройство, биореактор, температура, влажность, роботизированная система, автоматическое управление.

To solve the problem fully automate the process of organic waste is developed robotic system based fermenter device consisting of a bioreactor device preparation and filing of air gantry robot with temperature and humidity sensors and control systems. The use of the device in comparison with the existing analogues allows to achieve a higher quality of output material, reduce the proportion of marriages, increase the degree of automation and facilitate the work of the staff of the enterprise. All this increases the rate of organic waste and increases cost-effectiveness of the process.

Keywords: fermenter device, bioreactor, temperature, humidity, robotic systems, automatic control.

Проблема переработки органических отходов в настоящее время становится все более актуальной. В настоящее время созданы необходимые условия для внедрения и использования в сельском хозяйстве роботизированных систем, особенно при создании новых производственных комплексов.

На данный момент существует несколько устройств и способов переработки органических отходов [1 – 4]. Данные устройства имеют ряд недостатков при увеличении высоты кормовой зоны значительно сокращается высота рабочей зоны и усложняется подача сырья в зону переработки; система помостов, позволяющая

обеспечить подачу корма в любую точку, значительно затрудняет сбор биогумуса и вермикультуры; неоправданные затраты рабочего времени персонала при ручном или механизированном способе переработки.

Для устранения этих недостатков и автоматизации процесса переработки органических отходов разработано ферментерное устройство (Заявка на полезную модель № 2015118899 от 19.05.2015, решение о выдаче патента № 154518), представляющее собой биореактор 1 (рис. 1), стенки которого выполнены из бетона, имеющего не менее двух слоев гидроизоляции. Устройство подачи воздуха 2 состоит из безмасляного компрессора 3 с ресивером 4, парогенератором 5, основного электроклапана 6 и блока подготовки воздуха 7. Биореактор 1 содержит зону переработки сырья 8, в нижней части которой располагается система трубопроводов 9 с распределительными электроклапанами 10 и дозаторами воздуха с компенсированными

эмиттерами 11. Портальный робот 12 расположен на рельсах 13, установленных на продольных стенках биореактора 1, и содержит блок управления 14. На портальном роботе 12 расположен термодатчик 15 и датчик влажности 16, смонтированные на шупе 17 (рис. 2), который установлен с возможностью поперечного перемещения по кран-балке 18 и вертикального перемещения с помощью устройства вертикальной подачи 19. Устройство подачи воздуха управляет система управления 20. Термодатчик 15 и датчик влажности 16 связаны проводом с блоком управления 14. Блок управления 14 связан с системой управления 20 цифровым беспроводным радиоканалом. Система управления связана линиями управления 21 с компрессором 3, распределительными электроклапанами 10, блоком подготовки воздуха 7, парогенератором 5 и основным электроклапаном 6. В поперечной стенке биореактора 1 выполнен люк 22.

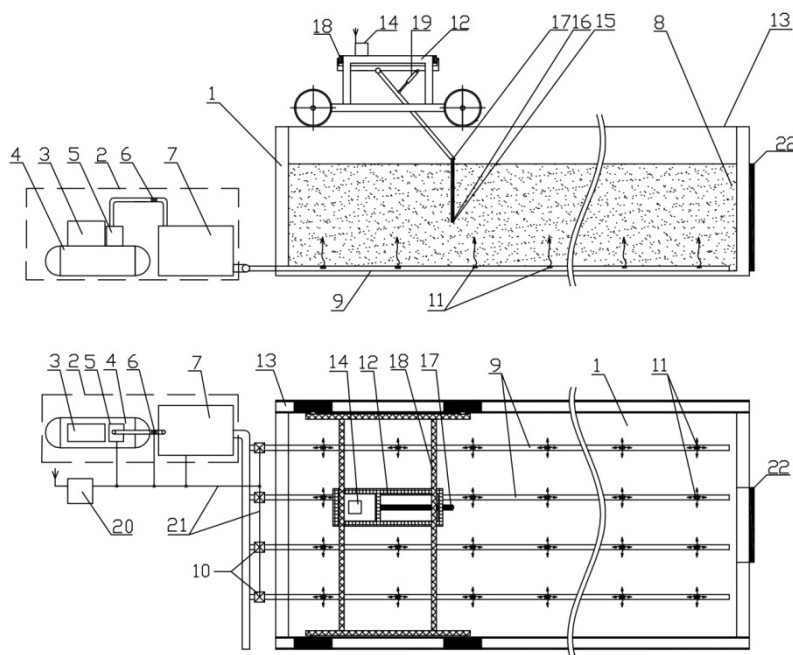


Рис. 1. Ферментерное устройство

Ферментерное устройство работает следующим образом. После загрузки сырья в зону переработки 8 и ввода требуемых значений температуры, влажности и уровня вентиляции в систему управления 20 начинается процесс переработки.

Система управления 20 управляет исполнительными устройствами 3, 4, 5, 6, 7, 10 с периодичностью, установленной оператором, для обеспечения необходимого уровня питания

воздухом определенной температуры и влажности зоны переработки сырья 8. Для подачи воздуха используется компрессор 3 с ресивером 4, подающий воздух, насыщенный до определенной влажности с помощью парогенератора 5 в блок подготовки воздуха 7, где обеспечивается его фильтрация и доводка температуры и влажности воздуха до необходимого уровня, а также сбор конденсата при необходимости.

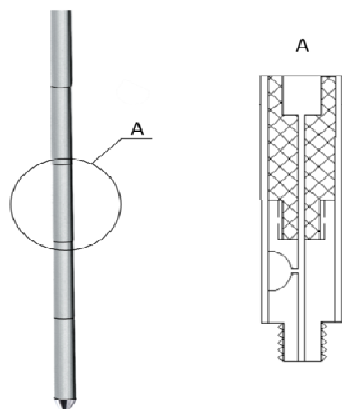


Рис. 2. Щуп портального робота

Портальный робот 12 перемещается по рельсам 13 в продольном направлении, при этом термодатчик 15 и датчик влажности 16, установленные на щупе 17, перемещаются в поперечном направлении по кран-балке 18 и опускаются или поднимаются за счет устройства вертикальной подачи 19. Таким образом, термодатчик 15 и датчик влажности 16 позволяют фиксировать температуру и влажность по всему объему биореактора 1, так происходит сбор сведений о температуре и влажности на различных участках зоны переработки сырья 8. Эта информация передается на блок управления 14 портального робота 12. После обработки полученные данные передаются из блока управления 14 в систему управления 20, которая управляет работой исполнительных устройств 3, 5, 6, 7, 10. В результате определяются рациональная температура, влажность и объем сжатого воздуха, который необходимо подать на каждую линию трубопроводов 9 путем открытия необходимого распределительного электроклапана 10.

В процессе подачи воздуха в зону переработки сырья 8 производится повторный контроль температуры при помощи термодатчика 15

и влажности при помощи датчика влажности 16. Если в какой-то части зоны переработки сырья 8 результат не был достигнут с первой попытки, система управления 20 подает сигнал и цикл повторяется.

После окончания процесса ферментации система управления подает сигнал на выгрузку готового продукта, которая производится через люк 22.

Устройство может быть использовано на протяжении всего технологического процесса переработки органических отходов от загрузки сырья до выгрузки готовой продукции. Использование предлагаемого устройства обеспечивает снижение трудоемкости процесса переработки органических отходов, снижает процент брака, обеспечивает возможность мониторинга процесса переработки и снижает риск пересушки сырья и готового продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, И.В. Роботизированная система для переработки органических отходов культурой калифорнийских (кольчатых) червей / И.В. Волков, А.В. Богданова, А.М. Макаров // Известия ВолГГУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолГГУ. - Волгоград, 2014. - № 8 (135). - С. 60-62.
2. Пат. 2244698, МПК C05F3/06, A01K67/033. Устройство и способ компостирования с использованием вермикультуры / Ю. М. Лужков; заявитель и патентообладатель Юрий Михайлович Лужков; заявл. 21.01.2004; опубл. 20.01.2005.
3. Пат. 2261850, МПК C05F3/06. Ферментерное устройство / С. К. Васильев, И. В. Мастерских; заявитель и патентообладатель ООО "ПРОМЗЕЛЕНСТРОЙ"; заявл. 12.04.2004; опубл. 10.10.2005.
4. Сабо, Я.А. Роботизированная система переработки органических отходов / Я.А. Сабо, Д.Д. Ермишов, А.М. Макаров // Сборник тезисов докладов по внутривузовскому смотрю-конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов (г. Волгоград, 12-15 мая 2015 г.) / ВолГГУ, Совет СНТО. - Волгоград, 2015. - С. 26-27.

УДК 658.5.012.1

Ю. П. Сердобинцев, А. Л. Плотников, А. А. Швец, А. Р. Авдеев
ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
УСТРОЙСТВ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Предложена методика анализа производительности наиболее распространенных устройств объемной печати. Для технологий селективного лазерного спекания и экструдирования оценена длительность операций, входящих в процесс изготовления детали, получены выражения для оценки производительности в зависимости от технических характеристик устройств. Произведен анализ зависимостей, определены факторы, наиболее существенно ограничивающие производительность устройств объемной печати. Предложены подходы к ее повышению.

Ключевые слова: технологии объемной печати, характерная деталь, производительность объемной печати, прототипирование, аддитивные технологии.

The methodology of performance analysis for the most spread devices for 3D printing is proposed. Duration of operations included in the process of manufacturing parts was estimated for SLS and FDM technologies. Evaluation of performance expressions are obtained for depending on the product specifications. During dependencies analysis the factors most significantly limiting the performance of 3D printing are identified. Compiled recommendations to improve the device productivity.

Keywords: 3D printing technology, characteristic detail, the performance of 3D printing, rapid prototyping, additive manufacturing.

В процессе разработки различных изделий часто возникает необходимость изготовления макетов и опытных образцов. При этом, для сокращения трудовых и временных издержек, рационально использовать технологии объемной печати. В настоящее время они активно развиваются и производительность устройств объемной печати еще далека от теоретически достижимой. Можно выделить несколько способов

повышения их производительности.

В таблице [1, 4, 7] приведена производительность $P = V_{дет} / t_{общ}$ известных устройств объемной печати, на которую влияют объем $V_{дет}$ изготавливаемой детали и общее время $t_{общ}$ печати, которое частично зависит от сложности формы изготавливаемой детали и толщины T наносимого слоя.

Сравнение производительности устройств объемной печати

Сфера	Технология процесса печати	Название	Производительность, $м^3/с \cdot 10^{-9}$
Личное использование	FDM	RepRap Mendel	4,17
		UP! Mini	0,70
		LulzBot TAZ 3.0	7,50
		3D Systems Cube X	0,75
		MakerBot Replicator 2X	4,00
Профессиональное использование	FDM	Leapfrog Creatr Xeed	3,00
		StratasysObjet30 Pro	3,00
	SLS	3D Systems ProJet 660Pro	7,83
		FSL3D Pegasus Touch	6,17
		OWL Nano	7,00
Промышленное производство	SLS	BeAm VI LF4000	1,17
		3D Systems PROX 500	5,50
		Arcam A2XX	22,2
		3D Systems PROX 300	13,8
		EOS M 400	5,50

Сравнение производительности различных технологий печати необходимо проводить на примере одного и того же изделия. В качестве него предложено взять деталь из пластмассы, представленную на рис. 1. Так как устройства объемной печати создают деталь по слоям, то каждый

последующий слой создается поверх предыдущего, что приводит к необходимости использования поддерживающего материала, если следующий слой выступает за предыдущий. Предложенная деталь характеризуется как раз такой конструкцией, что усложняет технологический процесс.

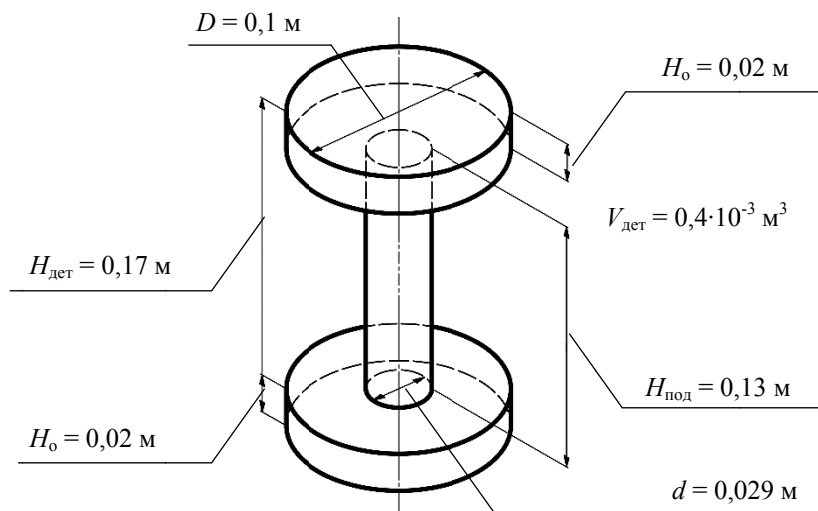


Рис. 1. Базовая деталь для сравнения производительности устройств объемной печати

Для производства такой детали может быть применена технология селективного лазерного спекания (Selective Laser Sintering – SLS) [6, 8]. Длительность ряда операций, входящих в эту технологию, постоянна и не зависит от детали. К таким операциям относят: наполнение бункеров сыпучим рабочим материалом (длительность - $t_{нап}$), изъятие детали вместе с объемом неотработанного материала из рабочего пространства принтера (длительность - $t_{и.д.м}$), изъятие детали из объема неотработанного материала (длительность - $t_{и.д}$), спекание детали в печи, длительностью $t_{с.д}$. Общее время печати для этой технологии описывается выражением:

$$t_{общ} = t_{нап} + n \cdot (t_{разр} + t_{спек.сл}) + t_{и.д.м} + t_{и.д} + t_{с.д},$$

где $t_{разр}$ – время разравнивания материала до толщины слоя печати, с; $t_{спек.сл} = S_{сл} / (v d_l)$ – время спекания лазером слоя детали, с; $S_{сл}$ – площадь печатного слоя, м²; v – скорость движения лазера по рабочей поверхности, м/с; d_l – размер лазерного пятна, м; $n = H_{дет} / T$ – количество слоев детали; $H_{дет}$ – высота детали; T – толщина слоя печати, м.

Анализ зависимостей показал, что наращивание скорости v перемещения луча лазера

свыше 3...4 м/с оказывает незначительное влияние на производительность P печати, так как время печати слоя незначительно по сравнению со временем разравнивания $t_{разр}$, ввиду высокой текущей скорости движения луча лазера. Так же установлено, что сокращение времени $t_{разр}$ разравнивания рабочего материала позволяет значительно повысить производительность P печати. Ее зависимость от скорости v движения лазера по рабочей поверхности при различном времени разравнивания $t_{разр}$ рабочего материала, постоянном диаметре $d_l = 1 \cdot 10^{-5}$ м лазерного луча и толщине слоя $T = 1 \cdot 10^{-5}$ м, представлена на рис. 2.

Для производства выбранной детали также может быть использована технология послойной заливки экструдированным расплавом (Fused Deposition Modeling – FDM) [9]. Здесь также часть операций имеет постоянную длительность: установка катушки с нитевидным рабочим материалом $t_{уст}$, изъятие детали вместе с поддержкой из рабочего пространства принтера $t_{и.д.п}$, время удаления поддержки $t_{удал}$. Для печати детали (рис. 1) по технологии FDM необходимо использовать поддержку высотой $H_{под} = 0,13$ м. Общее время изготовления детали таким способом можно описать выражением:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{под}} \frac{H_{\text{под}}}{T} + n(t_{\text{оп}} + t_{\text{сл}}) + t_{\text{и.д.п}} + t_{\text{удал}}$$

где $t_{\text{под}} = S_{\text{под}} / (vT)$ – время печати поддержки детали, с; $S_{\text{под}}$ – площадь печатного слоя поддержки, м²; v – скорость перемещения печатающей головки, м/с; $t_{\text{оп}}$ – время опускания платформы, мин; $t_{\text{сл}} = (S_{\text{сл}} f) / (vT)$ – время пе-

чати слоя детали, мин; $S_{\text{сл}}$ – площадь печатного слоя детали, м²; $H_{\text{под}}$ – высота печати поддержки, м; $f = V_{\text{под}} / (V_{\text{под}} + V_{\text{дет}})$ – коэффициент заполнения поддержки, $V_{\text{под}}$ – объем поддерживающей оснастки. При $f = 0$ – оснастка не используется.

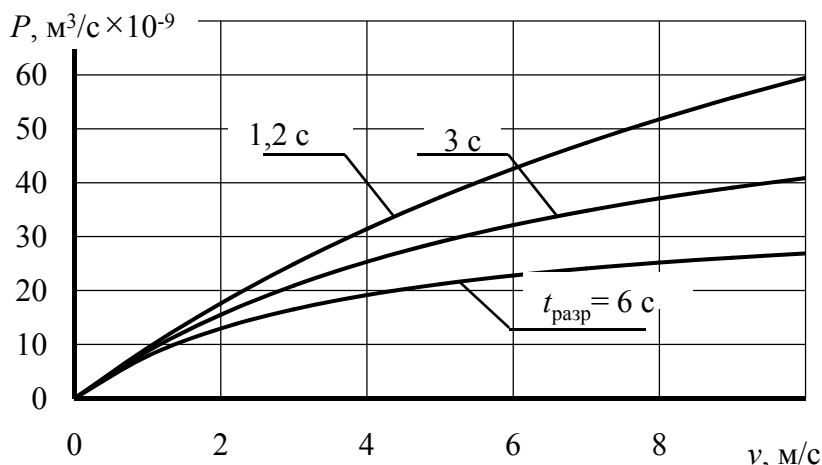


Рис. 2. Зависимость производительности P процесса печати по технологии SLS от скорости v движения лазера по рабочей поверхности при различном времени $t_{\text{разр}}$ разравнивания рабочего материала

Зависимость производительности P процесса печати по технологии FDM от скорости v печати при различном коэффициенте f заполнения поддержки и постоянной толщине слоя $T = 1 \cdot 10^{-5}$ м, представлена на рис. 3. Ее анализ пока-

зывает, что печать поддерживающей оснастки занимает значительное время. Однако, коэффициент f заполнения поддержки должен быть не менее $f \geq 0,2$, иначе поддержка не обеспечит печать выступов выбранной детали.

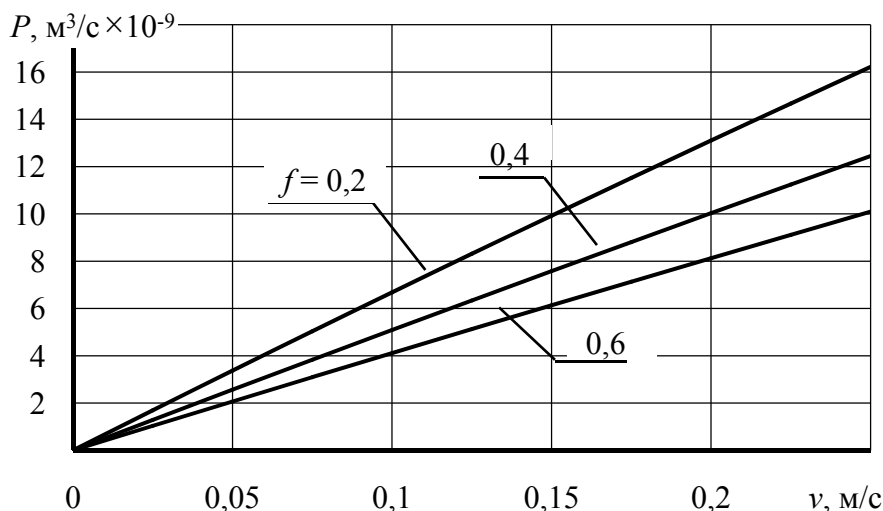


Рис. 3. Зависимость производительности P процесса печати по технологии FDM от скорости v печати при различном коэффициенте f заполнения поддержки

Сравнительный анализ зависимостей (рис. 2, 3) показывает, что технология FDM значитель-

но уступает в быстродействии ввиду сложного технологического процесса, вызванного необ-

ходимостью печати поддерживающей оснастки. В связи с этим представляется перспективным использование конструкции многокоординатного стола с возможностью наклона и поворота для упрощения технологического процесса.

Также для увеличения производительности P перспективно использование печатающей головки с несколькими соплами (рис. 4, б) вместо одного (рис. 4, а). Она состоит из: теплоизолированного корпуса 1, входного канала 2, резервуара 3, нагревательных элементов 4, выходных сопел 5, клапанов 6.

Такой процесс печати содержит две операции, постоянные во времени: установку катушки с нитевидным рабочим материалом $t_{уст}$, и изъятие детали из рабочего пространства принтера $t_{из.дет.}$. Общее время изготовления детали этим способом описывает выражение:

$$t_{общ} = t_{уст} + t_{сл} \frac{H_{дет}}{T \cdot \sum_{i=1}^k m^{i-1}} + t_{из.дет.}$$

где $t_{сл} = S_{сл}/vT$ – время печати слоя детали, s ; k – количество сопел в печатающей головке принтера; m – коэффициент увеличения скорости печати слоя от одного дополнительного сопла.

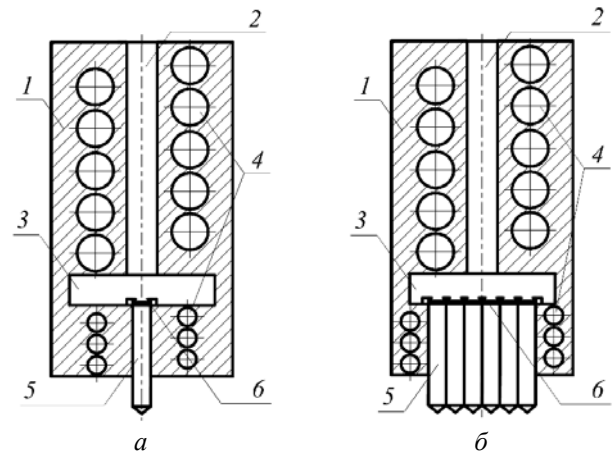


Рис. 4. Печатающая головка:
а – с одним соплом; б – с несколькими соплами

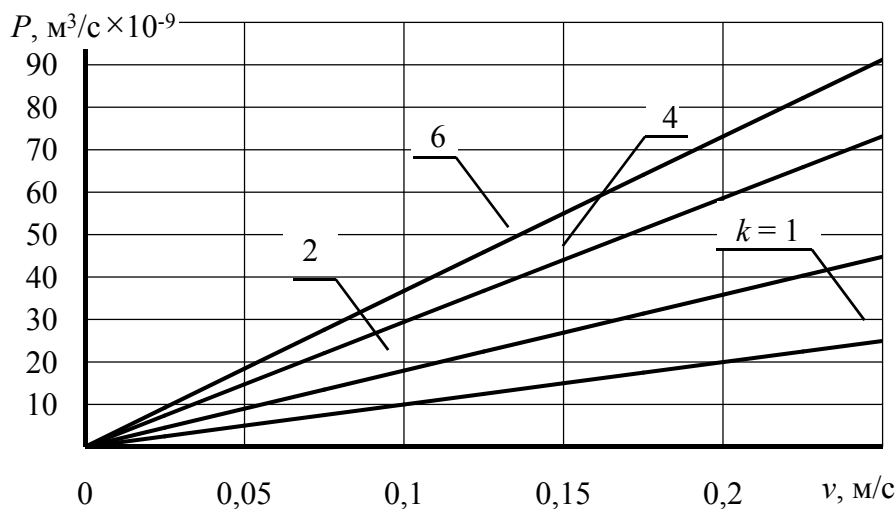


Рис. 5. Зависимость производительности P процесса печати по технологии FDM от скорости V печати при различном количестве k сопел

Коэффициент $m \approx 0,8$ отражает непропорциональность повышения производительности печати с увеличением количества сопел, так как каждое дополнительное сопло задействовано меньше предыдущего.

Реализация совокупности разработанных для технологии FDM рекомендаций при различном количестве k сопел и постоянной толщине слоя $T = 1 \cdot 10^{-5}$ м (рис. 5) может повысить до 6 раз производительность печати, и позволит превзойти по этому показателю технологию SLS до 1,5 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеев, А.Р., Дроботов, А.В., Швеиц, А.А. Сравнительный анализ устройств для объемной печати // Прогрессивные технологии в машиностроении / Известия ВолГТУ №1 (156); Волгоград: ВолГТУ, 2015. С. 76-79.
2. Авдеев, А.Р., Дроботов, А.В., Швеиц, А.А. Использование объемной печати для производства заготовок из легкоплавких металлов // XVII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, 6-9 ноября 2012 г.: тез. докл. / ВолГТУ [и др.]. – Волгоград, 2013. С. 71-72.
3. Авдеев, А.Р., Дроботов, А.В., Швеиц, А.А. Анализ устройств для изготовления деталей методом объемной печати // XIX региональная конференция молодых исследователей

дователей Волгоградской области (г. Волгоград, 11-14 ноября. 2014 г.) : тез. докл. / редкол.: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; Волгоград: ВолгГТУ, 2015. С. 86-87.

4. Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металла. М.: ФГУП «НАМИ». 57 с.

5. Пушкарев, В.В., Дроботов, А.В. Компоновка устройств для объемной печати экструдированным расплавом деталей сложной формы // Известия волгоградского государственного технического университета. Волгоград: ВолгГТУ, 2013. С. 121-123.

6. Способ спекания деталей лазерным послойным синтезом: пат. 2450891 Рос. Федерация: МПК51 В22F 3/105 / С. Б. Рыцев, Е. И. Филиппов, А. И. Тимофеев; заявитель и патентообладатель Минпромторг России. – №

2010141499/02; заявл. 16.12.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 12 с.

7. Compare 3D Printers Aniwaа: URL: <http://www.aniwaa.com/3d-printers/compare-3d-printers/> (дата обращения: 06.06.2015).

8. Method and device for smoothing elements made using the sls incremental technology: пат. WO2011145960 A1. Patent: МПК51В29С6700 / Jankowski, Piotr; заявитель и патентообладатель MBM Technology Spółka Cywilna. - № PCT/PL2011/000050 ; заявл. 11.05.2011, опубл. 24.11.2011. – 6 р.

9. Layered Deposition Bridge Tooling: пат. US7255821. Patent: МПК51В29С33/40 / William Priedeman, Jr.; and S. Scott Crump; заявитель и патентообладатель Stratasys, Inc.. - № PCT/US2003/010219 ; заявл. 04.04.2003, опубл. 14.08.2007. – 9 р.

Редактор
Н. Н. Кваша

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–61113 от 19 марта 2015 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 24-80-00
E-mail: president@vstu.ru

Темплан 2015 г. Поз. № 86ж. Подписано в печать 30.11.2015 г. Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 8,48.

Тираж 100 экз. Заказ №

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ

400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В научном журнале «Известия Волгоградского государственного технического университета», серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области прогрессивных технологий в машиностроении.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.