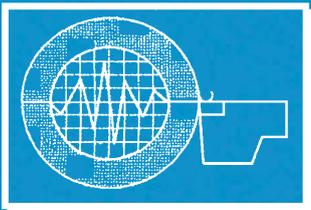
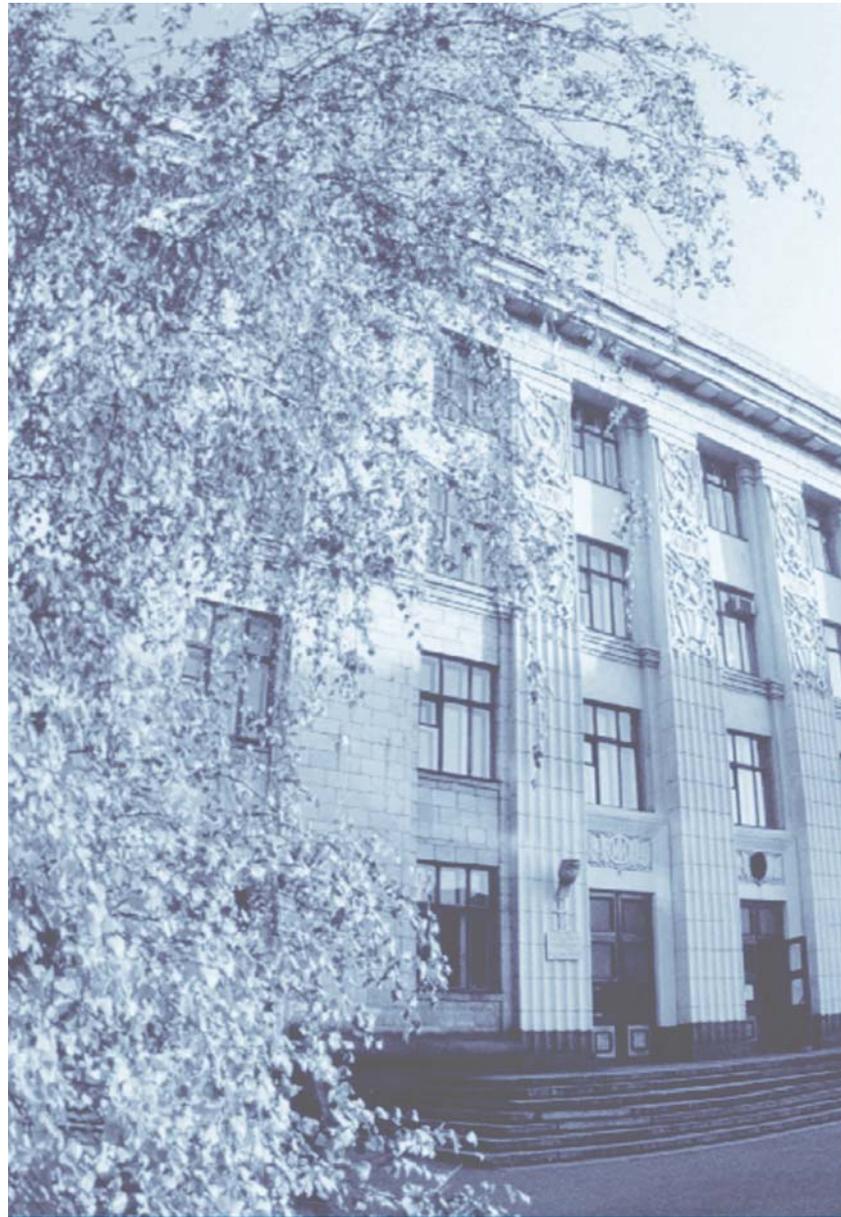


ИЗВЕСТИЯ

Волгоградского
государственного
технического
университета

ISSN 1990-5297



Серия
Прогрессивные технологии
в машиностроении

16+

№ 3 (262)
2022

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:

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)
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., академик 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, 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)
Пустовойт В. Н., д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Донской государственный технический университет
(г. Ростов-на-Дону, Россия)
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
Щербаков М. В., д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ

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

Чигиринский Ю. Л., д.т.н., доц.

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)

Бржозовский Б. М., д.т.н. проф.
(ИМАШ РАН, г. Москва)

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

Шумячер В. М., д.т.н., проф.
(ВПИ, филиал ВолгГТУ,
г. Волжский)

Сидякин Ю. И., д.т.н., проф.

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

Пашков Е. В., д.т.н., проф. советник
ректора (СевГУ, 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.

Тихонова Ж. С., к. т. н.
(ответственный секретарь)

Международный индекс журнала
ISSN 1990-5297.

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
80811(ОК+ЭК).

Тел. издательства ВолгГТУ:
8-(8442) 24-84-08
8-(8442) 24-84-05
zavrio@vstu.ru

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

№ 3 (262)

Март 2022

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:

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)

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., Academician 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)

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

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

Shcherbakov M. V., D. Sc. (Engineering), Prof. VSTU

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

Tchigirinsky Ju. L., D. Sc.
(Engineering), Ass. Prof.
Serdobintsev Yu.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)
Brzhozovsky B. M., D. Sc.
(IMASH RAN, Moscow)
Korolev A.V., D. Sc., Prof.
(SSTU, Saratov)
Shumyacher V.M., D. Sc.
(Engineering), Prof.,
(VPI of VSTU, Volzhski)
Sidyakin Yu.I., D. Sc. (Engineering), Prof.
Blagoveschenskaya M.M., D. Sc.
(Engineering), Prof., Vice-rector
(MSUFP, Moscow)
Pashkov E.V., D. Sc. (Engineering),
Prof., rector's advisor
(SEVSU, 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.
Tihonova Zh. S. (executive secretary),
Cand.Sc

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).

Tel. Of VSTU editorial office:

8-(8442) 24-84-08
8-(8442) 24-84-05
zavrio@vstu.ru

Scientific journal

Published since January 2004

12 times a year

№ 3 (262)
March
2022

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

- Алехин А. Г. 57
Балаев А. Ф. 16, 19
Барабанов В. Г. 62
Бекренев Н. В. 10
Ваганов А. В. 47, 81
Волков И. В. 65
Ву Ван Занг 43
Горелова А. Ю. 49
Грибанова Н. И. 43
Гуторов А. А. 52
Драчев О. И. 23, 25
Дроботов А. В. 81
Дьяченко Е. А. 59
Жданов А. А. 7, 13
Злобина И. В. 10
Ивон Нкеуа Д. А. 13
Ижбердеев И. И. 7
Калашникова К. А. 55
Капитанов А. В. 55
Карлов В. И. 29, 32
Князев Д. С. 57
Кожевникова А. А. 37
Козенко М. Ю. 59
Козловцева Н. В. 55
Кормилицин С. И. 41
Королев А. А. 16
Королев А. В. 16, 19
Кравцов А. Н. 23, 25
Крылов Д. М. 62
Крылов Е. Г. 52, 55
Крыхтин Ю. И. 29, 32
Курсин О. А. 13
Кухтик М. П. 73
Липатов А. А. 35
Макаров А. М. 47, 59
Овчинников Г. Н. 65
Панюлайтис А. С. 65
Полянчикова М. Ю. 13, 37
Попова И. С. 37
Поступаева С. Г. 69
Репников А. И. 73
Сницар Д. А. 7
Солодков В. А. 41
Стегачев Е. В. 65
Сулицкий М. В. 81
Тихонова Ж. С. 7
Федорова Н. В. 69, 77
Чемогонов П. А. 62
Чигиринский Ю. Л. 35, 43
Шведов Е. Г. 57
Шведуненко А. А. 47
Шемелюнас С. С. 47, 81
Яковлев А. А. 73, 77

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Жданов А. А., Тихонова Ж. С., Сницар Д. А., Ижбердеев И. И.</i> Анализ способов оценки влияния СОТС на стойкость твердосплавного инструмента и другие параметры процесса резания.....	7
<i>Злобина И. В., Бекренев Н. В.</i> Исследование эрозионного износа угле- и стеклопластика после обработки в отвержденном состоянии в СВЧ электромагнитном поле.....	10
<i>Ивон Нкеуа Д. А., Курсин О. А., Жданов А. А., Полянчикова М. Ю.</i> Повышение эффективности процесса хонингования при обработке деталей из низкоуглеродистых сталей путем создания нового способа хонингования с предварительной криогенной обработкой.....	13
<i>Королев А. В., Королев А. А., Балаев А. Ф.</i> Исследование снижения остаточных напряжений колец подшипников при бесцентровой обкатке на стадии, предшествующей сборке.....	16
<i>Королев А. В., Балаев А. Ф.</i> Исследование влияния бесцентровой обкатки на отклонение от круглости колец подшипников.....	19
<i>Кравцов А. Н., Драчев О. И.</i> Установка для точения тел вращения.....	23
<i>Кравцов А. Н., Драчев О. И.</i> Режущая блок-вставка для высокоточного точения наружных поверхностей валов.....	25
<i>Крыхтин Ю. И., Карлов В. И.</i> Оценка триботехнических показателей пары трения дискового фрикционного устройства по результатам испытаний на машине трения.....	29
<i>Крыхтин Ю. И., Карлов В. И.</i> Исследование пар трения из экспериментального спеченного порошкового фрикционного материала и стальных контртел на машине трения.....	32
<i>Липатов А. А., Чигиринский Ю. Л.</i> Повышение эффективности обработки аустенитной стали титаносодержащим твердосплавным инструментом путем коррекции скорости резания по мере изнашивания инструмента.....	35
<i>Полянчикова М. Ю., Попова И. С., Кожевникова А. А.</i> Система статистического контроля координатно-измерительной машины....	37
<i>Солодков В. А., Кормилицин С. И.</i> Особенности пластического деформирования в контактной зоне при прерывистом резании.....	41
<i>Чигиринский Ю. Л., Грибанова Н. И., Ву Ван Занг</i> Повышение точности и качества обработки при многопереходном фрезеровании цветных металлов и сплавов.....	43
Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Ваганов А. В., Шемелюнас С. С., Шведуненко А. А., Макаров А. М.</i> Метод уменьшения времени 3D печати.....	47
<i>Горелова А. Ю.</i> Автоматизация обработки отверстий в корпусных заготовках теплообменных аппаратов.....	49

<i>Гуторов А. А., Крылов Е. Г.</i> Совершенствование автоматизированной системы управления плоскощелевой экструзионной установкой.....	52
<i>Калашиникова К. А., Крылов Е. Г., Козловцева Н. В., Капитанов А. В.</i> Автоматизированная система контроля параметров микроклимата тепличного комплекса.....	55
<i>Князев Д. С., Алехин А. Г., Шведов Е. Г.</i> Регрессионная модель метеорологического прогнозирования на долгосрочный период.....	57
<i>Козенко М. Ю., Дьяченко Е. А., Макаров А. М.</i> Синтез новой кинематической схемы для устройств аддитивного производства по технологии послойного наплавления.....	59
<i>Крылов Д. М., Чемогонов П. А., Барабанов В. Г.</i> Разработка автоматизированной системы моделирования, считывания и воспроизведения рукописного текста для идентификации почерка.....	62
<i>Панюлайтис А. С., Овчинников Г. Н., Волков И. В., Стегачев Е. В.</i> Разработка и исследование автоматического устройства для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов.....	65
<i>Поступаева С. Г., Федорова Н. В.</i> Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Выявление элементарных функций устройства.....	69
<i>Репников А. И., Кухтик М. П., Яковлев А. А.</i> Автоматизированная система управления цепочной каруселью.....	73
<i>Федорова Н. В., Яковлев А. А.</i> Разработка модели физического принципа действия газоразрядного лазера с диффузионным охлаждением.....	77
<i>Шемелюнас С. С., Дроботов А. В., Ваганов А. В., Сулицкий М. В.</i> Алгоритм работы устройства автоматического контроля подачи материала в FDM 3D принтере.....	81

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-7-10

А. А. Жданов, Ж. С. Тихонова, Д. А. Сницар, И. И. Избердеев

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОТС НА СТОЙКОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex_128@mail.ru

В работе произведен анализ литературных источников, в которых рассматривается влияние смазывающе-охлаждающих технологических сред, применяемых в металлообработке, на процессы резания, а также предложен способ диагностики влияния СОТС на стойкость инструмента.

Ключевые слова: смазывающе-охлаждающие технологические среды (СОТС), стойкость инструмента, режимы резания, термоЭДС.

A. A. Zhdanov, Zh. S. Tikhonova, D. A. Snitsar, I. I. Izherdeev

ANALYSIS OF CUTTING FLUIDS INFLUENCE DURING CUTTING PROCESSES ON THE DURABILITY OF CARBIDE TOOLS AND OTHER CUTTING PROCESS PARAMETERS

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the literature sources, which consider the effect of cutting fluids used in metalworking on cutting processes, and also proposes a method for diagnosing the effect of coolant on tool life.

Keywords: cutting fluids, coolant, tool life, cutting conditions, thermal-EMF.

Любое предприятие применяет СОТС. Смазочные материалы оказывают значительное влияние на процессы резания. Они повышают качество всего процесса металлообработки: уменьшают износ режущего инструмента, повышают качество обработанной поверхности и снижают затраты энергии, а также препятствуют образованию нароста на режущей кромке инструмента, способствуют удалению стружки и абразивных частиц из зоны резания. Эффективная работа предприятий машиностроения и многих других отраслей промышленности предоставляется правильным выбором и использованием в производстве СОТС.

Большое количество научных работ направлены на изучение влияния различных марок СОТС, применяемых в металлообработке, на различные аспекты процесса резания и не только. Так в работе Булычева И. В. [1] выбор СОТС основывается на ширине диапазона ее

использования по видам операций и обрабатываемых материалов, поскольку в условиях современного производства СОТС обязана не только гарантировать высокую эффективность в конкретных условиях обработки, но и иметь достаточную гибкость, чтобы сохранять свои качества при перемене условий резания. Такой подход является одним из наиболее доступных и экономически выгодных.

А. Г. Кисель и Д. С. Реченко в работе [2] при помощи стенда, включающего машину трения, провели сравнительные испытания 33-х наименований водоэмульсионных, синтетических и масляных СОТС для определения фактического коэффициента трения при условиях, близким к условиям резания. По результатам эксперимента, в котором использовались четыре различных материала для ролика и твердый сплав Т15К6 в качестве колодки, была составлена сводная таблица, позволяющая оценить

смазывающее и охлаждающее действие СОТС в каждом случае. Полученные данные дают возможность подбора наиболее технологически эффективной СОТС для обработки определенного материала.

В следующей работе [3] за авторством А. Г. Киселя проводилось исследование влияния различных СОТС на изменение коэффициента трения пары «сталь 45 – твердый сплав Т15К6». Из полученных данных видно, что снижение коэффициента трения при применении водоземulsionных СОТС составляет от 77,5 до 90,0%, синтетических СОТС – от 66,3 до 82,5%. Также различные СОТС имеют различные диапазоны предельных значений коэффициента трения, что может говорить о стабильности их работы – чем меньше разница между предельными значениями, тем более стабильна СОТС. Исследования в работе [4] также показывают, что использование СОТС при токарной чистовой обработке ($V=35$ м/мин, $S=0,1-0,26$ мм/об, $t=0,5$ мм) стали 45 твердосплавными пластинами увеличивает время приработки инструмента в 2,5-3 раза относительно обработки в сухую. Также применение СОТС значительно снижает микроприжоги и интенсивность образования микротрещин на поверхности заготовки, при этом значительно снижая глубину их залегания. Чем лучше теплопроводность и смазывающие качества СОТС, тем меньше вероятность появления дефектов [5].

В работе [6] проводилось исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовки из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС. По итогам было установлено, что ис-

пользование СОТС продлевает срок службы режущей пластины в среднем в 1,66 раза по сравнению с обработкой без СОТС. Также была установлена эмпирическая зависимость – $T_u=f(V_{охл.max})$ – периода стойкости твердосплавной режущей пластины от максимальной скорости охлаждения СОТС, применявшейся при резании, исходя из которой был определен интервал $V_{охл.max} \in (23.20; 24.77)$, °С/с, в рамках которого применение СОТС эффективно по периоду стойкости инструмента по сравнению с обработкой без применения СОТС.

Во всех приведенных выше работах общим является тот факт, что их исследования применимы в основном лишь для тех материалов, для которых они проводились. То есть, полученные данные больше предназначены для использования на конкретном производстве, для конкретных контактных пар материалов инструмент-заготовка и СОТС.

Традиционные машиностроительные справочники предлагают достаточно поверхностные и приблизительные оценки влияния СОТС на процесс резания. Сравнительные расчеты скорости и сил резания (табл. 1–3), произведенные с использованием справочной литературы для обработки стали 20, 40Х и 30ХНМА резцом с твердосплавной пластиной Т15К6 при одинаковых режимах резания ($S = 0,33$ мм/об, $t = 2$ мм), показали, что влияние СОТС на скорость резания учитывается в справочниках [10] и [11], как коэффициент 0,75 и 0,80 к скорости резания (если СОТС не используется); влияние СОТС на силы резания не берется во внимание совсем. Также стоит отметить значительный разброс полученных значений.

Таблица 1

Расчетные режимы резания для стали 20

Справочник авторов	Скорость резания V , м/мин		Силы резания P , Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков [7]	375	–	635	–	205	–	231	–
Ю. В. Барановский [8]	220	–	1060	–	–	–	–	–
М. Г. Шеметов, В. Ф. Безъязычный [9]	273	–	830	–	–	–	–	–
В. И. Гузеев [10]	126	168	–	–	373	–	357	–
В. И. Баранчиков [11]	193	241	–	–	–	–	–	–
	Размах, R							
	250	73	424	–	167	–	126	–
	R/\min , %							
	198	44	67	–	81	–	54	–

На текущий момент общеизвестно, что износостойкость твердосплавного инструмента внутри отдельных партий спекания изменяется в пределах 1,5-2 раза, а между отдельными партиями данный разброс достигает двух-

трехкратной величины. В то же время нестабильность физико-механических свойств обрабатываемых материалов одной и той же марки наблюдается тем больше, чем сложнее их состав.

Таблица 2

Расчетные режимы резания для стали 40X

Справочник авторов	Скорость резания V, м/мин		Силы резания P, Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков [7]	150	–	1402	–	521	–	643	–
Ю. В. Барановский [8]	209	–	1060	–	–	–	–	–
М. Г. Шеметов, В. Ф. Безъязычный [9]	147	–	830	–	–	–	–	–
В. И. Гузев [10]	113	151	–	–	373	–	357	–
В. И. Баранчиков [11]	96	120	–	–	–	–	–	–
–	Размах, R							
	112	31	572	–	148	–	286	–
	R/min, %							
	117	25	69	–	40	–	80	–

Таблица 3

Расчетные режимы резания для стали 30XНМА

Справочник авторов	Скорость резания V, м/мин		Силы резания P, Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков [7]	126	–	1438	–	548	–	689	–
Ю. В. Барановский [8]	176	–	1200	–	–	–	–	–
М. Г. Шеметов, В. Ф. Безъязычный [9]	147	–	830	–	–	–	–	–
В. И. Гузев [10]	100	133	–	–	455	–	437	–
В. И. Баранчиков [11]	96	120	–	–	–	–	–	–
–	Размах, R							
	79,5	13	608	–	93	–	252	–
	R/min, %							
	82	10	73	–	20	–	58	–

В монографии профессора А. Л. Плотникова [12] указано, что главной причиной неточности в определении допустимой скорости резания являются величины коэффициентов K_u и K_m , учитывающие свойства инструментального и обрабатываемого материалов соответственно, а также величина коэффициента C_v , зависящая от условий резания, определяемых, в частности, сочетанием свойств контактируемой пары «инструмент – изделие». Влияние же подачи и глубины резания на величину допустимой скорости резания минимально ввиду малых значений самих величин S и t , характерных для чистовой и получистовой обработки.

Все вышесказанное подводит к мысли о том, что исследование влияния СОТС на процессы резания необходимо проводить с учетом изменчивости свойств инструментального и обрабатываемого материалов в каждом отдельном случае. Одним из путей решения данной проблемы является предварительное диагностирование свойств контактной пары «инструмент – изделие».

В качестве направления дальнейшего исследования предполагается проведение стойких испытаний твердосплавных пластин, а также исследование возможностей предварительной оценки (прогнозирования) стойкости пластин, величин составляющих сил резания,

а также эксплуатационных параметров поверхностей стальных деталей при различных видах механической обработки с применением СОЖ на основе использования различных диагностических индикаторов, таких как термоЭДС, микротвердость и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булычев, И. В. Обзор современных смазочно-охлаждающих жидкостей / И. В. Булычев // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) – Киров, 2019. – С. 50-54.
2. Кисель, А. Г. Оценка технологической эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей при лезвийной обработке / А. Г. Кисель, Д. С. Реченко // Механика XXI века : сб. докл. XII Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием / БрГУ. - Братск, 2013. - С. 160-161.
3. Кисель, А. Г. Влияние водоэмульсионных и синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей на изменение коэффициента трения пары «Сталь 45 -твердый сплав Т15К6» / А. Г. Кисель // Альманах современной науки и образования. - 2013. - № 3 (70). - С. 72-73.
4. Кисель, А. Г. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на стойкость металлорежущего инструмента при токарной обработке / А. Г. Кисель, Д. С. Реченко, А. Ю. Попов, А. А. Ражковский // Системы. Методы. Технологии. – 2013. - № 4 (20). – С. 138-172.
5. Титов, Ю. В. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на микроструктуру обрабатываемого материала / Ю. В. Титов, А. Г. Кисель, А. Ю. Попов, Д. С. Реченко, А. А. Ражковский. // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2013. № 1. С. 144-145.
6. Кисель, А. Г. Исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовок из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС / А.Г. Кисель, Е.Д. Пуртов, С.С. Выборов, Д.Ю. Белан, В.А. Гречишников // Проблемы машиностроения: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. – Омск : ОмГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 59–65.
7. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
8. Режимы резания металлов. Справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с.
9. Справочник токаря-универсала / под ред. М. Г. Шеметова и В. Ф. Безъязычного. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 576 с.
10. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / под ред. В. И. Гузеева. - М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.
11. Справочник конструктора-инструментальщика / под ред. В. И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1994. – 560 с.
12. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе ; ВолгГТУ. - Волгоград : РПК "Политехник", 2003. - 184с.

УДК 621-039-419; 620.22-419; 537.868
DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-10-13

И. В. Злобина, Н. В. Бекренев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА УГЛЕ- И СТЕКЛОПЛАСТИКА ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ОТВЕРЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ В СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ*

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина
E-mail: Irinka_7@mail.ru

Статья посвящена изложению результатов экспериментальных исследований стойкости угле- и стеклопластика, модифицированного обработкой в СВЧ электромагнитном поле, к эрозионному износу под воздействием потока абразивных частиц. Показано снижение массового износа опытных образцов углепластика в 10–12 раз, стеклопластика – в 1,5–1,76 раза по сравнению с контрольными. Установлено, что при этом параметры шероховатости обработанной поверхности снижаются в среднем на 40–70 % для углепластика и на 20–45 % для стеклопластика.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, СВЧ модифицирование, эрозионный износ, струйно-абразивная обработка, шероховатость поверхности износа.

I. V. Zlobina, N. V. Bekrenev

INVESTIGATION OF EROSIWE WEAR OF CARBON AND FIBERGLASS AFTER TREATMENT IN THE CURED STATE IN A MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

The article is devoted to the presentation of the results of experimental studies of the resistance of carbon and fiberglass modified by treatment in a microwave electromagnetic field to erosive wear under the influence of a stream of abrasive particles. It is shown that the mass wear of carbon fiber prototypes decreased by 10–12 times, fiberglass - by 1.5–1.76 times compared to the control ones. It was found that the roughness parameters of the treated surface decrease on average by 40–70 % for carbon fiber and by 20–45 % for fiberglass.

Keywords: polymer composite materials, microwave modification, erosive wear, jet-abrasive treatment, roughness of the wear surface.

© Злобина И. В., Бекренев Н. В., 2022.

* Исследования выполнены в рамках проекта «СП-5946.2021.3 «Метод повышения функциональных характеристик элементов космических аппаратов из отвержденных полимерных композиционных материалов в условиях воздействия температурного градиента».

Для изделий, эксплуатирующихся в экстремальных природных условиях, в том числе – Арктике, Антарктике и космическом пространстве большое значение имеет стойкость к эрозионному износу, вызванному воздействием скоростного потока твердых частиц [1; 2]. За последние 20 лет в аэрокосмической технике объем применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) увеличился более, чем в два раза, и данная тенденция продолжает сохраняться. В основном физико-механические свойства ПКМ создаются в процессе формования изделия и определяются подбором связующего, армирующих компонентов, коэффициента заполнения, схемой армирования. При этом выполнение требований по износостойкости не всегда сопровождается достаточными прочностными характеристиками изделий. В тоже время для упомянутых условий эксплуатации под воздействием скоростного потока твердых частиц оказываются крупногабаритные элементы конструкций, испытывающие значительные деформационные нагрузки: обшивка крыла и фюзеляжа (особенно в зоне шасси), лопасти несущих и рулевых винтов вертолетов и др. Поэтому значительное внимание уделяется модификации сформированных ПКМ с целью повышения некоторых из их характеристик. Среди технологических процессов модификации можно выделить использование физических методов, в том числе СВЧ электромагнитного поля [3; 4]. В связи с изложенным актуальным и перспективным направлением представляется работа с уже готовыми изделиями из ПКМ в качестве заключительной операции технологического цикла.

Целью исследований явились экспериментальные исследования возможности повышения стойкости конструкций из ПКМ к эрозионному износу путем воздействия на них в отвержденном состоянии СВЧ электромагнитным полем. Ранее авторами получены положитель-

ные результаты по снижению отрицательного влияния факторов внешней среды на прочностные свойства ПКМ после СВЧ воздействия [5].

Проведено физическое моделирование процесса эрозионного износа путем струйно-абразивной обработки плоско-параллельных образцов угле- и стеклопластика производства ООО «Еврокомплект, г. Калуга размерами 40x20x5 мм. Использовали пескоструйную камеру с компрессором СБЧ/с-50.GM244, обеспечивающем давление в ресивере 4–6 кг/см². С учетом технических характеристик сопловой насадки, обеспечивалась средняя скорость потока 4,5 м/с. В качестве абразива применен корундовый порошок с дисперсностью 150–250 мкм. До и после обработки образцы взвешивали на электронных весах «Ньютон» МЛЮ,2-1В1Ж с точностью 0,0001 г. Массовый износ определяли, как разницу веса образцов до и после струйно-абразивной обработки. Дополнительно изучали изменение параметров шероховатости в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи цифрового профилометра Mitutoyo SJ-410.

Образцы разделяли на две партии: контрольную и опытную. Опытные образцы по 3 подвергали воздействию в течение 1, 2 и 3 минут СВЧ электромагнитного поля при помощи экспериментального оборудования на базе микроволновой установки «Жук-2-02» ООО НПП «АгроЭкоТех», г. Обнинск Калужской обл. при плотности потока энергии $P_1 = (10-12) \times 10^4$, $P_2 = (17-18) \times 10^4$ и $P_3 = (45-50) \times 10^4$ мкВт/см².

Результаты (по усредненным значениям) исследований представлены в таблице и на рис. 1, 2. Износ контрольных образцов угле- и стеклопластика составили соответственно 0,021 и 0,0155 г. При этом воздействие на стеклопластик СВЧ электромагнитного поля с ППЭ = $(10-12) \times 10^4$ мкВт/см² не показало значимых изменений величины износа по сравнению с контрольными образцами.

Влияние режимов СВЧ обработки на величину массового износа (г)

Плотность потока энергии, мкВт/см ²		Время СВЧ обработки, мин		
		1	2	3
(10–12)×10 ⁴	углепластик	0,0116	0,0014	0,0013
	стеклопластик	0,0155	0,0153	0,0151
(17–18)×10 ⁴	углепластик	0,0026	0,002	0,002
	стеклопластик	0,0149	0,0134	0,0113
(45–50)×10 ⁴	углепластик	0,0026	0,0068	0,0017
	стеклопластик	0,0153	0,0103	0,0088

Установлено, что зависимость массового износа углепластика от времени при малых и средних плотностях потока энергии с достаточной (более 0,86) точностью описывается степенными функциями. Зависимость от времени при максимальном значении ППЭ носит экстремальный характер и описывается полиномом 2-го порядка. Зависимости для стеклопластика описываются степенными функциями с точностью 0,99. Наблюдается стабильное снижение значений массового износа с увеличением времени воздействия.

Наибольшее снижение износа наблюдается у образцов углепластика, обработанных при ППЭ $(17-18) \times 10^4$ мкВт/см² в течение 2 минут и $(45-50) \times 10^4$ мкВт/см² в течение 3 минут: в 10,5 и 12,3 раза соответственно. Для образцов стеклопластика наибольшее снижение износа в 1,76 раза получено при обработке с ППЭ $(45-50) \times 10^4$ мкВт/см² в течение 3 минут, что

в целом коррелирует с результатами прочностных испытаний.

Параметры шероховатости поверхности после струйно-абразивной обработки контрольного образца углепластика и опытного, составили соответственно: $R_a = 5,924-4,165$ мкм, $R_z = 26,107-23,515$ мкм, $R_{max} = 46,949-25,393$ мкм и $R_a = 1,234-0,542$ мкм, $R_z = 12,39-5,183$ мкм, $R_{max} = 15,782-9,429$ мкм. Параметры шероховатости образцов стеклопластика значительно ниже, степень их снижения – меньше, чем у углепластика. Для контрольного образца: $R_a = 2,426-1,994$ мкм, $R_z = 17,174-15,0$ мкм, $R_{max} = 24,3-22,852$ мкм. Для опытного: $R_a = 1,622-1,311$ мкм, $R_z = 11,372-10,484$ мкм, $R_{max} = 15,405-13,308$ мкм. В целом наблюдается соответствие изменений шероховатости и массового износа, что объяснимо худшей обрабатываемостью материалов, структура которых была модифицирована при указанных режимах воздействия.

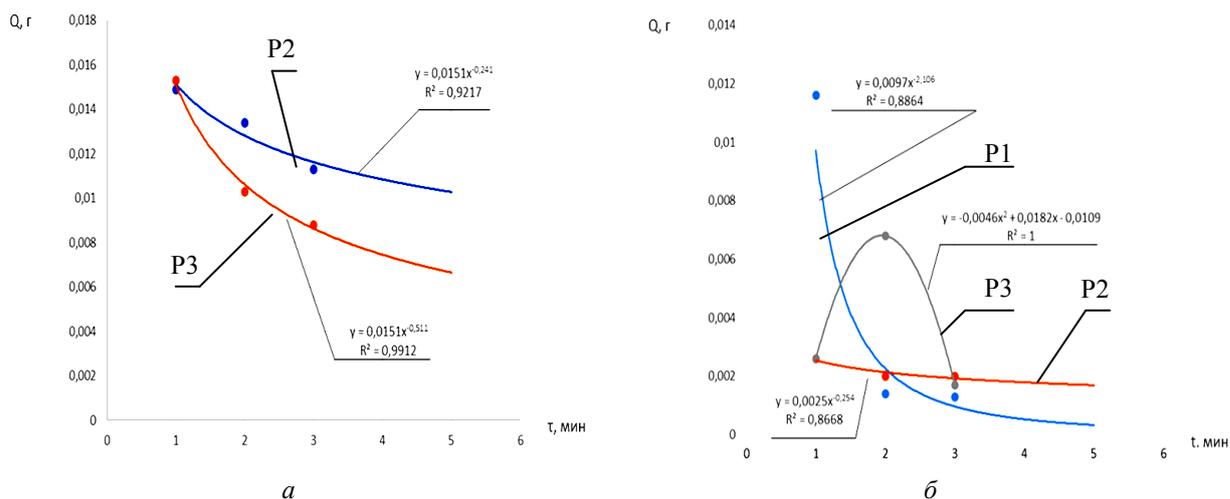


Рис. 1. Зависимость массового износа стекло- (а) и углепластика (б) в ходе струйно-абразивной обработки от времени СВЧ воздействия

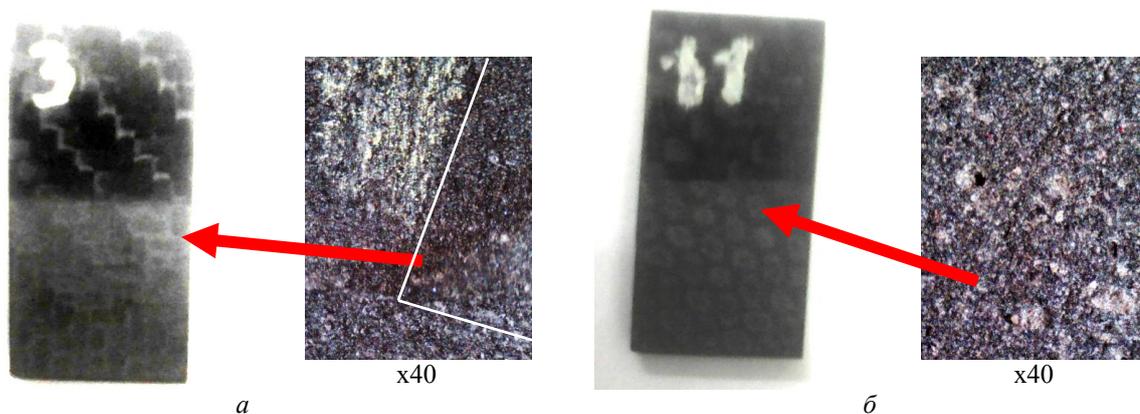


Рис. 2. Поверхность контрольного (а) и опытного (б) образцов после струйно-абразивной обработки (верхняя часть не обработана)

При изучении поверхности обработанных струйно-абразивным методом ПКМ отмечается «пятнистый» характер микрорельефа у углепластика, «пятна» представляют собой темные углубления в поверхностном слое и у контрольных образцов имеют вытянутую форму, напоминающую зерно фасоли, у всех опытных образцов «пятна» имеют относительно сходные размеры в различных направлениях. Поверхность всех контрольных и опытных образцов стеклопластика имеет монотонный серый цвет, визуально различия не определяются (рис. 2).

Установленные значительные изменения эрозионного износа угле- и стеклопластика, модифицированного в СВЧ электромагнитном поле, выразившиеся в уменьшении массового износа и снижении параметров шероховатости, могут быть объяснены усилением контактного взаимодействия хрупкой матрицы и высокопрочных упругих армирующих волокон, что способствует повышению общей прочности композита, сопротивлению трещинообразованию в результате ударного и царапающего дей-

ствия твердых частиц, снижению вероятности образования трещин в матрице, приводящих к скалыванию крупных ее фрагментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Деев, И. С. Модель космоса. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / И. С. Деев, Е. Ф. Никишин ; под ред. Новикова Л. С. – М.: КДУ, 2007. С. 1056–1067.
2. Бузник, В. М. Материалы для сложных технических устройств арктического применения. Научно-технические проблемы освоения Арктики / В. М. Бузник, Е. Н. Каблов, А. А. Кошурина. – М., 2015. С. 275–285.
3. Архангельский, Ю. С. Справочная книга по СВЧ-электротермии / Ю. С. Архангельский. – Саратов : Научная книга, 2011. 560 с.
4. Teawon Kim Microwave heating of carbon-based solid materials / Teawon Kim, Jaeeun Lee, Kun-Hong Lee // Carbon Letters, Vol. 15, No. 1, 15-24 (2014).
5. Злобина, И. В. Влияние обработки в СВЧ электромагнитном поле на изменение изгибной прочности конструктивных элементов из отвержденных углепластиков под действием факторов внешней среды / И. В. Злобина, И. С. Кацуба, Н. В. Бекренев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 20-22.

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-13-16

Д. А. Ивон Нкеуа, О. А. Курсин, А. А. Жданов, М. Ю. Полянчикова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НОВОГО СПОСОБА ХОНИНГОВАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: slone1@mail.ru

Статья посвящена исследованию нового метода хонингования с предварительной криогенной обработкой, который позволяет повысить качество обработанной поверхности изделий из низкоуглеродистых сталей.

Ключевые слова: хонингование, качество поверхности, низкоуглеродистая сталь, криогенная обработка.

J. A. Yvon Nkeoua, O. A. Kursin, A. A. Zhdanov, M. Yu. Polyanchikova

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HONING PROCESS WHEN MACHINING PARTS FROM LOW-CARBON STEELS BY CREATING A NEW METHOD OF HONING WITH PRE-CRYOGENIC TREATMENT

Volgograd State Technical University

The article is devoted to the study of a new method of honing with pre-cryogenic treatment, which allows to improve the quality of the treated surface of products made of low-carbon steels.

Keywords: honing, quality of a surface, low-carbon steel, cryogenic processing.

Низкоуглеродистые стали находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Высокая механическая устойчивость к низким температурам позволяет

использовать изделия из этих сталей на севере России. В этой статье будет рассмотрено то, что известно о методе хонингования, криогенной обработке и будущих планах исследований

для улучшения нашего понимания этих важных явлений [1; 2]. Машины из сталей 09Г2С и 12Х18Н10Т широко применяются в регионах с преобладающим холодным климатом, так как они обладают необходимой прочностью в сочетании с высокой вязкостью и пластичностью, обладают малой чувствительностью к концентраторам напряжений и низкой склонностью к хрупкому разрушению [3; 4].

Хонингование является финишным процессом обработки деталей, имеющих отверстия, и выполняется исключительно на хонинговальных станках. Однако хонингование «мягкой» нержавеющей стали 12Х18Н10Т, и морозостойкой стали 09Г2С дает плохое качество поверхности (рис. 1): образуются наплывы вдоль следа обработки и появляются задиры [5].

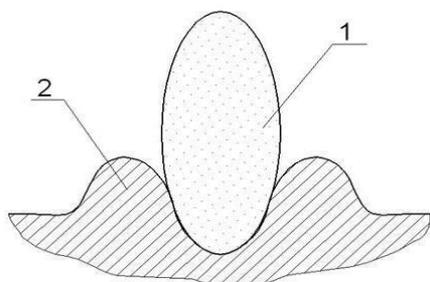


Рис. 1. Образование наплыва металла вдоль следа обработки:

1 – абразивное зерно; 2 – наплывы металла вдоль следа обработки

Хонингование осуществляется за счет прижимания абразивных брусков к обрабатываемой поверхности, при этом последняя омывается смазочно-охлаждающей жидкостью [6]. Хонголовка вращается и совершает возвратно-поступательные движения с контролируемым усилием. Сочетание двух видов движения создает на поверхности заготовки поперечные штрихи, что способствует равномерности обработки. Однако доказано, что характеристики микрорельефа хонингованных поверхностей значительно зависят от твердости материала заготовки [7; 8; 13], что показывает необходимость повышения твердости поверхности перед обработкой.

Для выполнения данной цели, передовым решением в доводочных операциях является предварительная криогенная обработка без последующей закалки. Данный способ заключается в том, что используя жидкий азот в качестве хладагента, детали и механизмы помещаются в криогенный процессор (рис. 2), где они медленно охлаждаются и после выдерживаются

при температуре минус 196 °С. Затем обрабатываемые изделия, не дожидаясь нагрева, подвергают процессу хонингования. В охлажденном состоянии металл имеет повышенную твердость, наблюдается частичная трансформация аустенита в мартенсит, что позволяет абразивным зернам внедряться на меньшую глубину и снизить параметр шероховатости R_a (мкм) на низкоуглеродистых сталях.

Во время этого процесса в металле происходят структурные изменения. Они существенно повышают износостойкость, циклическую прочность, коррозионную и эрозионную стойкость.



Рис. 2. Криогенная камера с вертикальной загрузкой

Криогенная обработка проводится однократно и не нуждается в повторении, поскольку свойства материала, приобретенные в результате глубокой обработки холодом, как и при закалке, сохраняются в течение всего срока службы изделия [9].

В зависимости от марки стали и количества остаточного аустенита твердость стали при криогенной обработке повышается на 20–80 HV, а условный предел текучести стали $\sigma_{0,2}$ повышается до 20 %, предел прочности σ_b повышается до 15 % [10].

Известно, что при термообработке стали температура конца мартенситного превращения лежит значительно ниже 0 °С, поэтому в структуре стали после термообработки сохраняется значительное количество остаточного аустенита (более 18 %). При дальнейшем охлаждении закаленной стали до температуры минус 80–200 °С приостановившийся процесс мартенситного превращения возобновляется, это сопровождается повышением твердости стали. После

криогенной обработки количество остаточного аустенита в структуре стали обычно не превышает 5–8 %.

Криогенная обработка повышает износостойкость стальных изделий на 10–20 %, так как переход остаточного аустенита в мартенсит при низкой температуре не обедняет углеродом

мартенситную основу структуры, как это происходит при отпуске.

В таблице приведены механические свойства коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т [11, 12] до и после криогенной обработки, полученные экспериментально в результате наших исследований.

Механические свойства стали 12Х18Н10Т

№	Режим термообработки	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСЧ, кДж/м ²	Твердость, НV
1	Нормализация; отпуск при 150–300°С с охлаждением на воздухе	196	510	40	55	353	190
2	Нормализация; обработка холодом минус 196°С; отпуск 150–160°С на воздухе	220	560	37	51	340	235

Из таблицы видно, что при криогенной обработке возрастают предел текучести на 12 %, предел временного сопротивления на 10 % и твердость на 23 % (то есть 45 единиц НV).

На рис. 3, представлены профилограммы

поверхностей исследуемых сталей, полученных хонингованием. Без предварительной криогенной обработки и с предварительной криогенной обработкой. Из профилограмм видно значительное снижение шероховатости.

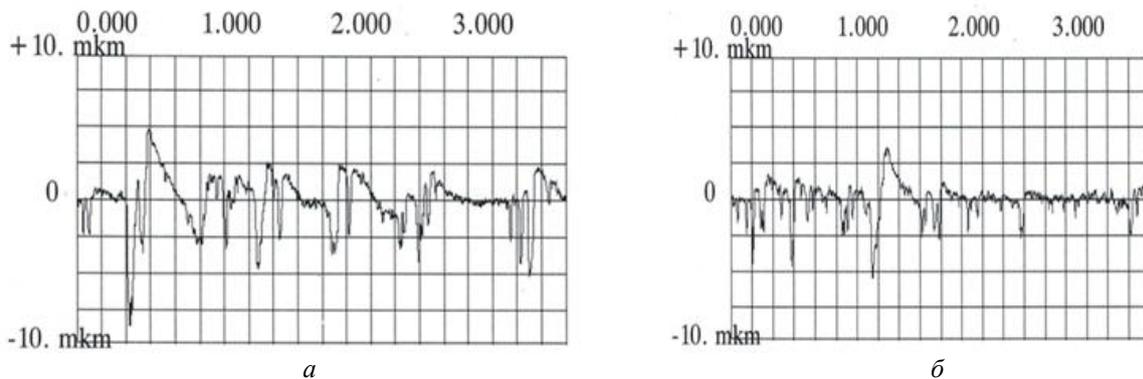


Рис. 3. Микропрофиль поверхности нержавеющей стали 12Х18Н10Т:

а – профилограмма обработанной поверхности нержавеющей стали 12Х18Н10Т обычным хонингованием ($R_a = 1,14$ мм);
 б – профилограмма обработанной поверхности стали 12Х18Н10Т, полученная хонингованием с предварительной криогенной обработкой ($R_a = 0,80$ мм)

В результате исследований установлено, что новый метод позволяет снизить параметр шероховатости R_a до 30 % на низкоуглеродистых сталях.

Таким образом, можно сделать вывод, что направлением повышения эффективности процесса хонингования при обработке низкоуглеродистых сталей является предварительная криогенная обработка. Так как, криогенная обработка позволяет повысить прочностные характеристики сталей, качество поверхности при финишной абразивной обработке и, как следст-

вие, повысить надежность и ресурс изделий.

Кроме того, метод хонингования с предварительной криогенной обработкой без последующей закалки позволяет достичь повышения твердости на момент абразивной обработки в результате частичной трансформации аустенита в мартенсит, повысить ударную прочность и износостойкость сталей за счет роста числа карбидов, а также метод дает возможность избежать тепловые деформации изделий и сократить энергозатраты. Способ может значительно увеличить срок службы изделия и его конку-

рентоспособность в результате значительного повышения качества поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Термическая обработка при криогенных температурах [Электронный ресурс]: интернет магазин. – Режим доступа: http://cryotech.ru/files/Statia_Kriogenna_obrabotka2.pdf (дата обращения: 20.10.21).
2. Патент РФ № RU 2000129892. Способ хонингования глубоких отверстий в деталях / Чирков Г. В. – Опубликовано 27.10.2002 г. – Бюллетень № 28.
3. Шульте, Ю. А. Хладнотойкие стали / Ю. А. Шульте. – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.
4. Солнцев, Ю. П. Конструкционные стали и сплавы для низких температур / Ю. П. Солнцев, Г. А. Степанов. – М.: Металлургия, 1985. – 271 с.
5. Кремень, З. И. Качество поверхностного слоя при обработке абразивными брусками / З. И. Кремень, В. Н. Дугин, В. В. Медведев // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1983. – № 6. – С. 73–75.
6. Хонингование в токарном деле. Хонинговальные станки [Электронный ресурс]: презентация. – Режим доступа: <https://ppt-online.org/758140/> (дата обращения: 18.10.21).
7. Мельникова, Е. П. Влияние технологических факторов финишной абразивной обработки на качество по-

верхности / Е. П. Мельникова // Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 2003. – №3. – С.13–16.

8. Справочник металлста. В 5 т. Т. 2 / под ред. М. П. Новикова, П. Н. Орлова. – М.: Машиностроение, 1977. – 720 с.

9. Технологии – Криогенная закалка металлов [Электронный ресурс]: форум. – Режим доступа: <http://cummins-forum.ru/Криогенная-закалка-металлов.164/> (дата обращения: 19.10.21).

10. Криогенные процессоры –оборудование для повышения ресурса металла [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: <https://mosinductor.ru/info/articles/kriogennye-protessory/> (дата обращения: 19.10.21).

11. Механические свойства стали 12X18H10T [Электронный ресурс]: интернет магазин. – Режим доступа: https://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10T (дата обращения: 24.10.21).

12. Справочник материалов, воспринимающих криогенную обработку [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: http://cryotech.ru/articles_and_publications/1105/ (дата обращения: 24.10.21).

13. Курсин, О. А. Исследование путей повышения качества поверхностей изделий из низкоуглеродистых сталей при финишной абразивной обработке: монография / О. А. Курсин, А. Л. Плотиных, С. Ч. Као, С. Б. Фам, Н. И. Егоров, М. Ю. Поляничкова; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2017. – 104 с.

УДК 621.789

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-16-19

А. В. Королев¹, А. А. Королев², А. Ф. Балаев³

ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ ПРИ БЕСЦЕНТРОВОЙ ОБКАТКЕ НА СТАДИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЙ СБОРКЕ

¹Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

²Саратовский областной институт развития образования

³Университет ИТМО

E-mail: bandrey.sc@gmail.com

Технология бесцентровой обкатки в сравнении с температурным отпускком колец подшипников, прошедших все технологические операции, предшествующие отпуску, оказывает меньшее влияние на изменение формы колец и большее влияние на снижение остаточных напряжений. Эффективность бесцентровой обкатки закаленных колец на операции, предшествующей сборке, требует экспериментального подтверждения. Установлено, что при выборе одного из факторов постоянным остаточное напряжение не зависит от второго фактора и составляет постоянную величину 5,1 МПа. Применение обкатки позволяет снизить более чем втрое среднюю величину растягивающих остаточных напряжений без увеличения их дисперсии, независимо от выбранных технологических факторов. Найдена эмпирическая зависимость остаточных напряжений от циклов нагружения и упругого технологического прогиба кольца.

Ключевые слова: температурный отпуск, кольцо подшипника, бесцентровая обкатка, остаточные напряжения, температурный отпуск, технология.

A. V. Korolev¹, A. A. Korolev², A. F. Balaev³

STUDY OF THE REDUCTION OF RESIDUAL STRESSES OF BEARING RINGS DURING CENTERLESS RUN-IN AT THE PRE-ASSEMBLY STAGE

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

²Saratov Regional Institute of Education Development

³ITMO University

The centerless rolling technology, in comparison with the temperature tempering of bearing rings that have passed all the technological operations prior to tempering, has a lesser effect on the change in the shape of the rings and a greater effect on the reduction of residual stresses. The effectiveness of centerless rolling of hardened rings in

the pre-assembly operation requires experimental confirmation. It has been established that when one of the factors is chosen constant, the residual stress does not depend on the second factor and is a constant value of 5.1 MPa. The use of rolling makes it possible to reduce the average value of tensile residual stresses by more than three times without increasing their dispersion, regardless of the selected technological factors. The empirical dependence of residual stresses on loading cycles and elastic technological deflection of the ring is found.

Keywords: thermal annealing, bearing ring, centerless running-in, residual stresses, temperature tempering, technology.

Введение

При снятии остаточных напряжений в мало жестких деталях с высокими требованиями к геометрической точности могут возникать значимые изменения формы. К таким деталям можно отнести кольца подшипников, которые, наряду с точностью геометрической формы, должны отвечать высоким требованиям к твердости, структуре материала, равномерности и средней величине остаточных напряжений.

Температурный отпуск, в силу универсальности применения, получил наиболее широкое распространение на производствах для снижения остаточных напряжений. Недостатком температурного отпуска является существенное изменение геометрической формы изделий, что требует применения последующей операции по исправлению формы.

Замена температурного отпуска операцией бесцентровой обкатки колец, прошедших все технологические операции, предшествующие операции отпуска, позволяет устранить указанную проблему. При этом не известно, будет ли эффективно и целесообразно применение технологии бесцентровой обкатки для снижения остаточных напряжений колец, прошедших все технологические операции, предшествующие сборке. Для выяснения этого вопроса был проведен эксперимент.

Условия эксперимента

Эксперимент проводился на 18 подшипниковых кольцах 7000806 (ГОСТ 520–2011) из стали ШХ-15, твердостью 62...66 HRC, после всех технологических стадий, предшествующих сборке. Кольца разделены на 6 групп, по три штуки. Первая группа колец являлась контрольной. Для колец второй группы применялся отпуск при температуре $t=200^{\circ}\text{C}$ в течение 2,5 ч и дальнейшим охлаждением на воздухе.

Для колец с третьей по шестую группы применялась бесцентровая обкатка при различных значениях технологических факторов.

Эксперимент проводился в соответствии с планом (таблица) [1] для двух технологических факторов: N – количество циклов нагружения; d – величина технологического прогиба кольца. Количество циклов нагружения для нижней и верхней границ варьирования фактора составляло 2160 и 3600 соответственно, и изменялось частотой вращения ведущего опорного вала. Время обкатки одного кольца каждой группы составляло три минуты.

Величина технологического прогиба кольца нижней и верхней границ варьирования фактора составляла 16 мкм и 30 мкм соответственно, и изменялась расположением оси вращения прижимного вала в радиальном направлении к обрабатываемому кольцу.

Сводная таблица плана и статистических данных эксперимента

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	$N(X_1)$, кол-во циклов	$d(X_2)$, мкм	Y , МПа	S^2 , МПа ²
1	1	1	-1	-1	3600	16	-0.632	4.788
2	1	-1	-1	1	2160	16	10.737	1.196
3	1	1	1	1	3600	30	3.158	4.786
4	1	-1	1	-1	2160	30	5.684	10.773
ТО	–	–	–	–	–	–	-13.894	8.376
БО	–	–	–	–	–	–	39.157	4.786

Обозначения: X_0, X_1, X_2 – нормированные значения факторов; N – фактическое значение количества циклов нагружения (фактор X_1); d – фактическое значение технологического прогиба кольца (фактор X_2); Y – среднее значение остаточных напряжений; S^2 – дисперсия остаточных напряжений.

Оценка остаточных напряжений проводилась с использованием метода Н. Н. Давиденкова [2;

3] по величине изменения диаметра кольца после односторонней разрезки в осевой плоскости.

Результаты эксперимента

Для всех групп колец была проведена проверка по критерию Кохрена до и после обра-

ботки, подтвердившая их однородность.

Для наглядного сравнения данные (таблица) представлены в виде гистограмм на рис. 1.

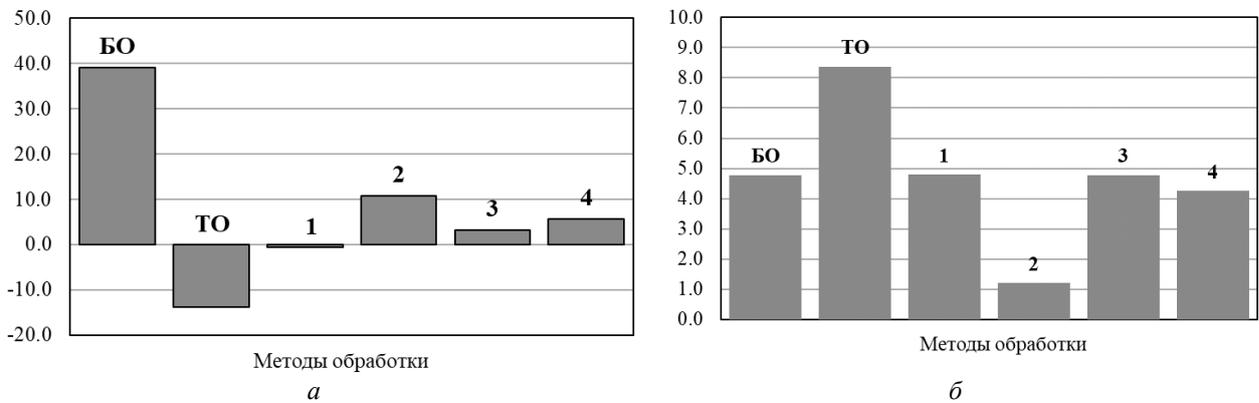


Рис. 1. Статистические показатели остаточных напряжений в кольцах контрольной группы и обрабатываемых колец до и после обработки в соответствии с нумерацией опытов плана эксперимента (таблица):
 a – среднее значение остаточных напряжений, МПа; b – дисперсия остаточных напряжений, МПа²

Из диаграммы (рис. 1, a) видно, что для всех четырех групп колец после обкатки происходит снижение средних значений остаточных напряжений более чем втрое относительно контрольной группы, в которой присутствовали растягивающие напряжения, способствующие трещинообразованию и разрушению колец.

Из диаграммы дисперсий остаточных напряжений колец (рис. 1, b) заметного увеличения дисперсий колец после обкатки относительно контрольной группы не наблюдается. Дисперсия остаточных напряжений после термической обработки заметно увеличивается (в 1,8 раза) относительно контрольной группы.

После статистической обработки результатов измерений были рассчитаны коэффициенты регрессии, проверенные по критерию Стьюдента,

и составлено уравнение (1) в нормированных параметрах технологических факторов (X_1, X_2), прошедшее проверку по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,95$:

$$Y = 4,737 \cdot X_0 - 3,474 \cdot X_1 + 2,211 \cdot X_2 \cdot X_1 \quad (1)$$

Для удобства использования уравнение (1) было переписано относительно фактических параметров технологических факторов N и d :

$$\sigma = 46.878 - 0.015 \cdot N - 1.228 \cdot \delta + 4.386 \cdot 10^{-4} N \cdot \delta. \quad (2)$$

Для используемых в эксперименте граничных значений технологических факторов уравнение (2) представлено в виде графиков функций (рис. 2).

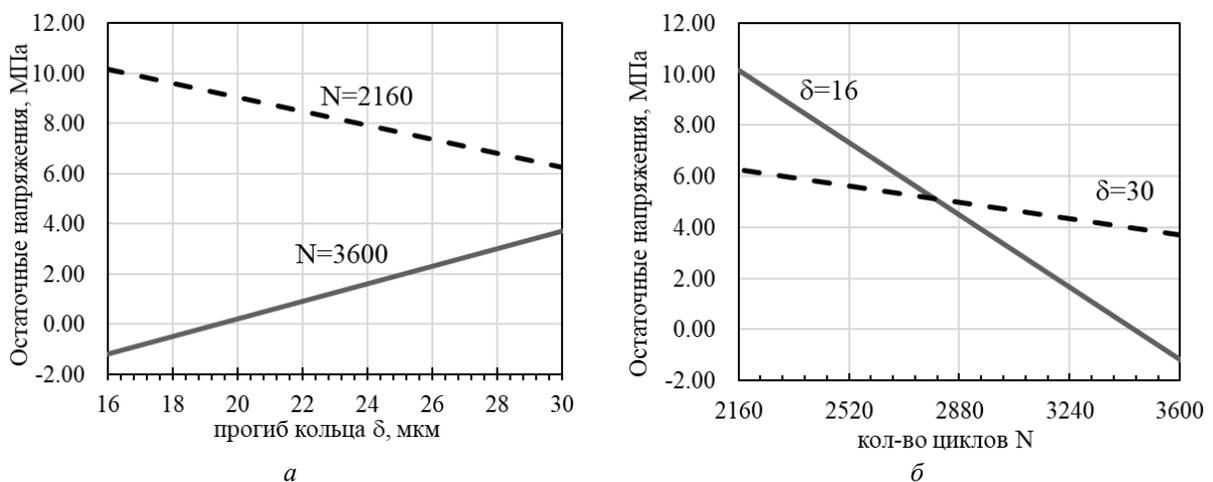


Рис. 2. Графики зависимостей среднего значения остаточного напряжения:
 a – от величины прогиба; b – от количества циклов нагружения

Из сравнения графиков зависимости $\sigma(\delta)$ (рис. 2, а) видно, что для двух разных значений количества циклов нагружения $N=2160$ и $N=3600$ графики будут иметь разное направление. Угол наклона графика при постоянной величине количества циклов нагружения связан с четвертым членом уравнения (2), где, в зависимости от значения N , коэффициент при $\sigma(\delta)$ может принимать знакопеременные значения. Чем больше количество циклов N задано в уравнении (2), тем прямая зависимость $\sigma(\delta)$ остаточных напряжений от величины δ будет выражена сильнее.

Аналогичная связь угла наклона графика наблюдается и для функции $\sigma(N)$ при заданной постоянной величине δ (рис. 2, б), где величина и знак угла наклона $\sigma(N)$ будет зависеть от коэффициента при N , определяемого δ . Чем больше заданная в качестве постоянной величина технологического прогиба δ , тем обратная зависимость $\sigma(N)$ остаточных напряжений от количества циклов нагружения будет слабее.

Приравняв нулю частные производные функции $\sigma(N, \delta)$ по каждому фактору, получаем критические значения факторов, равные $N=2800$ циклов и $\delta=34$ мкм. При любом из выбранных постоянным и равным критическому значению факторов, величина остаточного на-

пряжения будет составлять 5,123 МПа независимо от значения второго фактора.

Выводы

Установлено, что все кольца подшипников, прошедшие стадии технологической обработки, предшествующие сборке, содержат растягивающие остаточные напряжения.

Бесцентровая обкатка при различных технологических режимах позволяет снизить среднее значение остаточных напряжений колец более чем втрое без заметного увеличения дисперсии остаточных напряжений.

При выборе постоянным и равным критической величине, полученной из эмпирического регрессионного уравнения, одного из факторов, величина остаточного напряжения не зависит от выбора значения второго фактора, и составляет 5,1 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
2. Скворцов, В. Ф. Применение метода Н. Н. Давиденкова для оценки окружных остаточных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах / В. Ф. Скворцов, А. Ю. Арляпов, А. О. Бознак, И. И. Оголь // Системы. Методы. Технологии, № 4 (32), 2016. – С. 65–70.
3. Давиденков, Н. Н. Об измерении остаточных напряжений / Н. Н. Давиденков // Заводская лаборатория, Т. 16, № 2, 1950. – С. 188.

УДК 621.789

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-19-22

А. В. Королев¹, А. Ф. Балаев²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БЕСЦЕНТРОВОЙ ОБКАТКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ОТ КРУГЛОСТИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

¹ Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

² Университет ИТМО

E-mail: bandrey.sc@gmail.com

Бесцентровая обкатка представляет собой высокоэффективный технологический способ снятия остаточных напряжений колец подшипников, вследствие чего имеет возможность изменения их геометрической формы. Для изучения возможности правки колец был проведен эксперимент по исследованию статистических показателей отклонения от круглости в зависимости от количества циклов нагружения и технологического прогиба. Установлено, что после обкатки происходит увеличение среднего значения отклонения от круглости до 12 %. Величина дисперсии отклонения от круглости снижается от 58 до 96 %. Полученные статистические результаты представлены в виде эмпирической зависимости для расчета технологических режимов обкатки при заданной величине отклонения от круглости.

Ключевые слова: кольцо подшипника, обкатка, отклонение от круглости, технология.

A. V. Korolev¹, A. F. Balaev²

INVESTIGATION OF DEVIATIONS FROM ROUNDNESS DURING CENTERLESS ROLLING

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

² ITMO University

Centerless rolling is a highly efficient technological method for relieving residual stresses in bearing rings, as a result of which it is possible to change their geometric shape. Statistical indicators of the deviation from the roundness of the rings depending on the number of loading cycles and technological deflection were studied. It has been established that after running in, the average value of the deviation from roundness increases up to 12%. The roundness variance is reduced from 58% to 96% regardless of technological factors. The results are presented in the form of an empirical dependence for calculating the technological conditions of running in for a given value of deviation from roundness.

Keywords: bearing ring, running-in, roundness deviation, technology.

Введение

Технология бесцентровой обкатки колец подшипников обладает высокой энергоэффективностью и производительностью по снятию остаточных напряжений при сравнении с термическими методами.

Циклическое, вследствие вращения, упругое деформирование кольца при бесцентровой обкатке приводит к постепенному накоплению и релаксации напряжений с одновременным изменением формы в отдельных участках материала, где напряжения достигли предела упругости. Последующее циклическое нагружение этих участков приводит к их упругопластическому деформированию, компенсирующему изменение формы, вызванное релаксацией напряжений. Таким образом, многократно повторяющийся на протяжении всей операции процесс циклического деформирования, наряду с релаксацией напряжений, может вести к изменению формы колец [1].

Для выяснения возможности исправления формы колец подшипников бесцентровой обкаткой, определения условий и особенностей, при которых происходит этот процесс, был проведен эксперимент.

Условия эксперимента

Эксперимент проводился на подшипниковых кольцах 7000806 (ГОСТ 520–2011) в количестве 15 штук из стали ШХ-15 твердостью 62...66 HRC. Кольца разделены по три кольца на каждую партию. Одна из партий являлась контрольной и не подвергалась обкатке. Остальные четыре обрабатывались при разных значениях технологических факторов, в качестве которых выбраны количество циклов N нагружения и величина прогиба d обкатываемого кольца.

Каждое кольцо (рис. 1) обкатывалось между тремя валками экспериментальной установки. В каждой зоне контакта с валками кольцо под-

вергалось упругому прогибу на величину d , регулируемую изменением положения оси D верхнего прижимного валка (2) в радиальном направлении к обрабатываемому кольцу. Нижний и верхний уровень величины смещения оси верхнего валка составлял 24 мкм и 45 мкм соответственно, что, при равномерном расположении зон контакта валков по контуру кольца, создает прогиб кольца 16 мкм для нижнего и 30 мкм для верхнего уровней варьируемого фактора эксперимента.

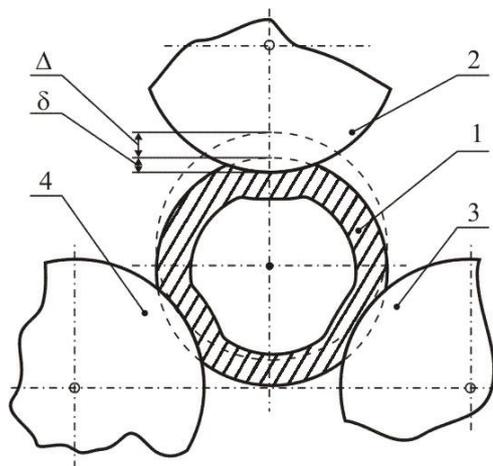


Рис. 1. Схема трехвалковой бесцентровой обкатки кольца: 1 – кольцо; 2 – прижимной валок; 3, 4 – опорные валки

Количество циклов нагружения менялось путем изменения частоты вращения валков. Время было принято постоянным и равным 3 минуты. В качестве нижнего и верхнего уровня частоты вращения было взято 240 об/мин и 400 об/мин, что соответствовало 2160 и 3600 циклам нагружения.

Изменение формы колец оценивалось по параметру отклонения от круглости, который измерялся до и после обработки прибором Talysond R-100.

Исследования проводились в соответствии с матрицей плана (табл. 1) [2].

Сводная таблица плана и статистических данных эксперимента

№ опыта / партии	X ₀	X ₁	X ₂	N(X ₁), кол-во циклов	d (X ₂), мкм	Y, мкм		S ² , мкм ²	
						до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
1	1	1	-1	3600	16	1.857	0.653	2.087	0.029
2	1	-1	-1	2160	16	1.997	0.134	2.010	0.044
3	1	1	1	3600	30	1.917	0.268	2.007	0.018
4	1	-1	1	2160	30	1.747	0.096	1.950	0.040
Контрольная	–					2.037	0.195	–	

Обозначения: X₀, X₁, X₂ – нормированные значения факторов; N – фактическое значение количества циклов нагружения (фактор X₁); d – фактическое значение технологического прогиба кольца (фактор X₂); Y – среднее значение отклонения от круглости; S² – дисперсия отклонения от круглости.

Результаты эксперимента

Для наглядного сравнения данные (таблица) представлены в виде гистограмм на рис. 2.

Согласно диаграмме (рис. 2, а), после операции обкатки не произошло значительных изменений средних значений отклонения от круглости для всех четырех партий колец. Проверка средних значений от круглости по критерию

Стьюдента не подтвердила статистическую значимость наблюдаемых (рис. 2, а) изменений.

Дисперсии отклонения от круглости (рис. 2, б) для всех четырех групп колец после обработки заметно уменьшились, и составили от 58 % (для 4-й группы) до 96 % (для 1-й группы) относительно соответствующих значений до обработки.

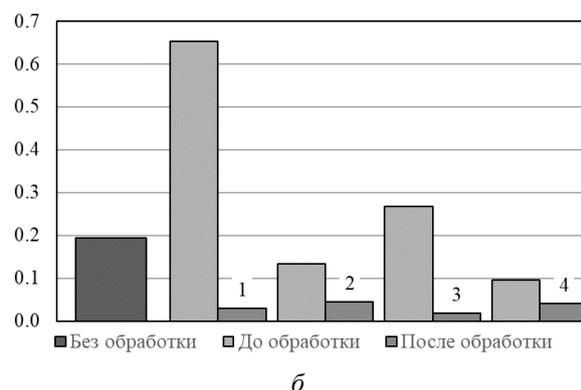
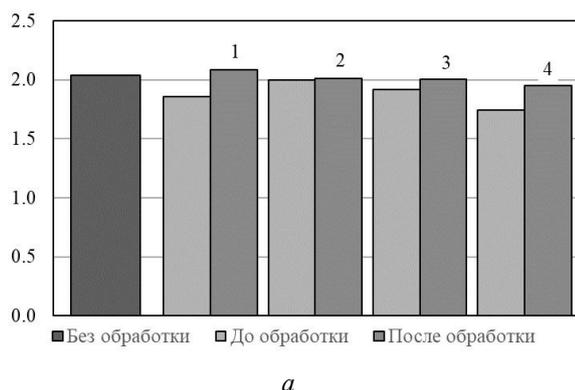


Рис. 2. Статистические показатели отклонений от круглости колец контрольной группы и обрабатываемых колец до и после обработки в соответствии с нумерацией опытов плана эксперимента (таблица): а – среднее значение; б – дисперсия

Проверка выборки всех групп колец по критерию Кохрена до и после обработки подтвердила ее однородность. По результатам проверки по критерию Стьюдента подтверждена статистическая значимость всех членов регрессии. После проверки адекватности по критерию Фишера регрессионная модель получила окончательно следующий вид:

$$Y = 2,013 \cdot X_0 + 0,034 \cdot X_1 - 0,035 \cdot X_2. \quad (1)$$

Проверка статистических гипотез на каждом этапе проводилась при уровне значимости $\alpha=0,95$.

После перехода от нормированных значений управляемых факторов к фактическим регрессионное уравнение (1) приняло вид:

$$y = 1,994 + 4,653 \cdot 10^{-5} \cdot N - 0,005 \cdot \delta. \quad (2)$$

Наглядно уравнение представлено в виде графиков на рис. 3 для рассмотренных технологических параметров.

Из уравнения (2) и графиков (рис. 3) видно, как увеличение количества циклов нагружения ведет к увеличению отклонения от круглости, что характеризует более интенсивное протекание процесса релаксации остаточных напряжений и изменение исходной формы кольца. Напротив, увеличение прогиба кольца ведет к росту контактной зоны поверхностного слоя, охватываемой пластической деформацией, и исправлению геометрических отклонений формы, в том числе, к уменьшению отклонения от круглости.

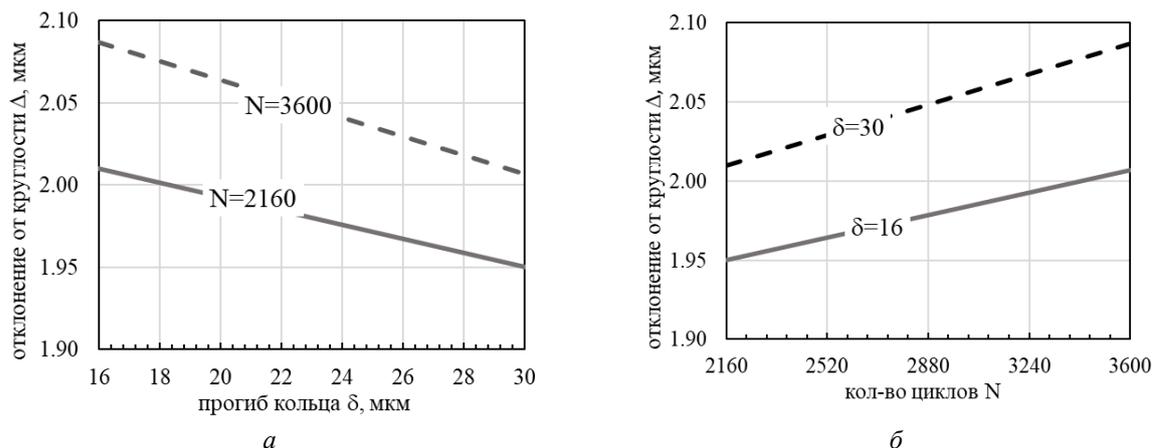


Рис. 3. Графики зависимостей отклонения от круглости: а – от величины прогиба; б – от количества циклов нагружения

Уравнение (2) может быть использовано для вычисления прогнозируемого значения отклонения от круглости при заданных технологических режимах, однако на практике приходится решать обратную задачу – определять технологические режимы исходя из требуемого значения контролируемого показателя точности. Поэтому уравнение (2) было переписано относительно искомого количества циклов (N):

$$N(\delta) = 2,149 \cdot 10^4 (y - 1,994 + 0,005 \cdot \delta). \quad (3)$$

Полученное выражение (3) позволяет выбрать рациональные технологические режимы (N , d) при условии задания отклонения от круглости незначительно отличающегося от 2 мкм, иначе технологические режимы выходят за рамки рациональных значений (отрицательное число циклов или недопустимо высокое значение прогиба кольца порядка $10^2 \div 10^3$ мкм).

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что после бесцентровой обкатки колец не происходит значимого изменения среднего значения отклонения от

круглости. Это может быть обусловлено высоким показателем отклонения от круглости колец до обкатки, составляющим порядка 2 мкм. Поэтому целесообразно проведение исследований применения обкатки для исправления геометрической формы с более низкой точностью, соизмеримой с величиной упругой технологической деформации колец. Величина дисперсии после обработки заметно снижается – с 58 до 96 %.

Получено эмпирическое выражение для расчета потребного количества циклов нагружения при обкатке колец подшипников в рамках описанных условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабенко, М. Г. К вопросу релаксации остаточных напряжений в тонкостенных деталях / М. Г. Бабенко, С. В. Слесарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение, Т. 23, № 1, 2021. – С. 20-28.
2. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

УДК 621.941

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-23-25

*А. Н. Кравцов¹, О. И. Драчев²***УСТАНОВКА ДЛЯ ТОЧЕНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**¹ НПК «ОНИКС»² Тольяттинский государственный университет

E-mail: doi05@mail.ru

Рассмотрена работа установки, оснащенной системой автоматического управления синфазными колебаниями заготовки и резцовой группы при точении тел вращения, применительно к токарным станкам. Управление положением резца в процессе резания реализуется с учетом гармонических составляющих основной частоты колебаний обрабатываемой заготовки. Приведена блок-схема автоматической системы управления положением вершины резца в процессе обработки.

Ключевые слова: точение, качество поверхности, точность.

*A. N. Kravtsov¹, O. I. Drachev²***INSTALLATION FOR TURNING BODIES OF REVOLUTION**¹ ONICS Scientific and Production Cooperative² Togliatti State University

The operation of the plant equipped with the system of automatic control of in-phase oscillations of the workpiece and the cutting group at turning of the bodies of rotation, in relation to lathes, is considered. Control of cutter position during cutting is implemented taking into account harmonic components of main frequency of machined workpiece oscillations. This is a block diagram of the automatic tool tip position control system during machining.

Keywords: turning, surface quality, accuracy.

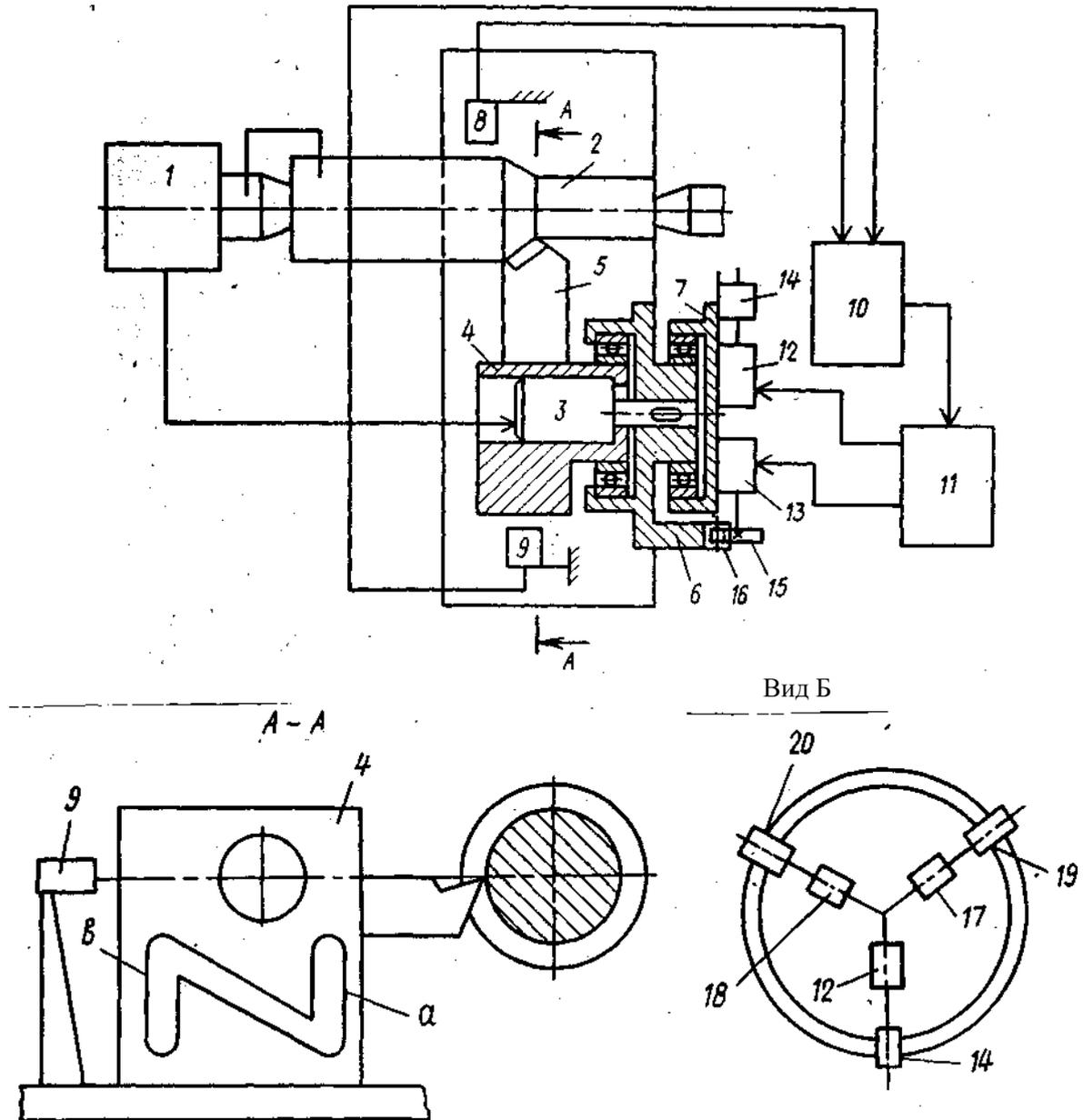
В процессе механической обработки на токарных станках маложестких осесимметричных деталей типа «вал» силы резания меняются постоянно, что приводит к колебаниям заготовки и инструмента. Переменные силы резания способствуют формированию неравномерных остаточных напряжений на поверхности обработанной детали. Последнее приводит к потере геометрической точности формы готовой детали, что неблагоприятно сказывается на их эксплуатационной надежности. Для решения проблемы повышения эксплуатационной точности нежестких валов распространение получили автоматические системы управления [1–5].

В предлагаемой установке рассматривается новый способ управления инструментом, основанный на синфазности частоты колебаний инструмента и заготовки, целью которого является повышение точности и качества обработки деталей.

Поставленная цель достигается тем, что установка, содержит резец, закрепленный на резцедержателе, датчики контроля колебаний детали и резца. САУ включает сервопривод радиального перемещения резца, снабженного сервоприводами поднастройки амплитуд, фаз

и частот колебаний резца. Сервопривод синфазной частоты жестко закреплен на резцедержателе параллельно оси шпинделя и электрически связан с приводом шпинделя станка. На рисунке приведена блок-схема автоматической системы управления положением вершины резца в процессе обработки.

Установка включает в себя главный привод станка 1, обрабатываемую деталь 2, сервопривод 3, электрически связанный с главным приводом 1, резцедержатель 4, на котором крепится сервопривод 3, резец 5, планшайбу 6, которая закреплена на валу сервопривода 3 жестко, планшайбу 7, закрепленную на планшайбе 6 с помощью подшипника, датчики 8 и 9 регистраций колебаний детали 2 и резца 5, фазовый дискриминатор 10, блок управления 11, сервоприводы 12 и 13 управления амплитудами и фазами колебаний резца 5, массу 14, приводимую в движение от сервопривода 12 (например, винтовой парой, на рисунке показано условно), зубчатую пару 15 и 16, связывающую зацеплением планшайбы 6 и 7, сервоприводы 17 и 18, дополнительные массы 19 и 20, связанные с сервоприводами 17 и 18 винтовыми парами.



Блок-схема автоматической системы управления положением вершины резца в процессе обработки

Принцип работы устройства заключается в следующем: перед процессом резания включается главный привод станка 1, который вращает обрабатываемую деталь 2, одновременно включается и сервопривод 3, электрически соединенный с главным приводом 1, но скорость вращения его противоположна скорости вращения привода 1 (по фазе смещена на 180°). Сервопривод 3 жестко закреплен на резцедержателе 4, последний выполнен на упругом основании пружины *a* и *n*, что позволяет резцедержателю 4 колебаться в горизонтальной плоскости вместе с резцом 5. На валу сервопривода 3 жестко закреплена планшайба 6, на которой закреплена вторая планшайба 7, с воз-

можностью вращения относительно планшайбы 6 и оси сервопривода 3. Планшайбы 6 и 7 вращаются вместе с валом сервопривода 3 (противофазе) синфазно относительно обрабатываемой детали 2.

В процессе резания амплитуды колебаний детали и резца могут быть неравны по величине за счет прогиба детали, а по фазе иметь рассогласование, не равное 180° . С целью выравнивания амплитуд и синфазности фаз включается в работу контур управления амплитуд и фаз колебаний резца. Датчики 8 и 9 регистрируют колебания детали и резцедержателя, причем датчики закреплены на суппорте станка 8 относительно необработанной поверхности де-

тали с противоположной стороны процесса резания, а 9 относительно корпуса резцедержателя, по оси, проходящей через вершину резца. Электрические сигналы с датчиков 8 и 9, пропорциональные механическим колебаниям детали и резца, поступают на вход фазового дискриминатора 10, в котором определяется сигнал рассогласования по фазе и поступает на блок управления 11, последний сравнивает величины амплитуд входных сигналов, усиливает и с учетом фаз подает на вход сервоприводов 12 и 13. Сервопривод 12 управляет амплитудой колебаний резца путем перемещения массы 14 относительно оси вращения планшайбы 7 за счет кинематической пары винт – гайка (не показан). Перемещение массы 14 производится по радиусу планшайбы 7, что изменяет амплитуду колебаний резцедержателя 4, следовательно, и резца 5. Управление положением массы 14 происходит до тех пор, пока сигнал рассогласования не станет равным нулю, т. е. амплитуда колебаний детали и резца сравнивается по величине. В процессе резания амплитуда от неуравновешенности заготовки изменяется по всей длине обработки и, следовательно, необходима автоматическая коррекция положений массы 14 относительно оси первого сервопривода с учетом знака, так как фаза амплитуды колебания, вызванной неуравновешенностью заготовки, также изменяется (по всей длине) в течение всего процесса обработки. При управлении по фазе включается в работу третий сервопривод 13, на вход которого поступает сигнал управления от блока. Сервопривод 13, закрепленный на планшайбе 7, поворачивается на угол равный углу рассогласования, относительно план-

шайбы 6 с помощью зубчатой пары 15 и 16. Шестерня 15 закреплена на валу сервопривода 13, а колесо 16 закреплено на планшайбе 6.

В случае появления колебаний детали с частотами вторых, третьих и т. д. гармоник на планшайбе устанавливаются дополнительные сервоприводы 17 и 18 и массы 19 и 20 с частотами вращения, равными, удвоенным, утроенным и т. д. частотам колебаний детали.

Применение предлагаемой установки оснащенной САУ позволит повысить точность обработки валов в поперечном и продольном сечениях и качество обрабатываемых поверхностей за счет стабилизации сил резания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2226140 РФ. МПК В 23 В 1/00. Устройство для токарной обработки нежестких деталей / С. А. Васин, Л. А. Васина-опубл. 27.03.2004 г. Бюл. № 25- Оpubл. 27.03.2004 г., Бюл. № 25.
2. Плотников, А. Л. Проблемы обеспечения расчетной точности токарной обработки в САПР ТП и методы их решения / А. Л. Плотников, Э. И. Мустафаев, А. А. Шмаров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 7). – С. 87–90.
3. Плотников, А. Л. Способы регулирования точности при обработке нежестких валов на токарных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, А. А. Шмаров, Д. С. Ключиков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 (100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 8). – С. 39–43.
4. Драчев, О. И. Технология изготовления маложестких осесимметричных деталей : монография / О. И. Драчев ; Издательство «Политехника», 2005. – 289 с.: ил.
5. А.с. 921683,МКИ В23 В1 /00,Устройство для обработки деталей / О. И. Драчев, М. Г. Дорошенко (СССР)-№2934763/25-08;заявл.23.05.80; опубл.23.04.82, Бюл. №15.-3 с.

УДК 621.9:531.3.075

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-25-28

А. Н. Кравцов¹, О. И. Драчев²

РЕЖУЩАЯ БЛОК-ВСТАВКА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ТОЧЕНИЯ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ

¹ НПК «ОНИКС»

² Тольяттинский государственный университет

E-mail: doi05@mail.ru

Рассмотрено резание с применением комплексных высокочастотных колебаний инструмента переменной составляющей энергии зоны стружкообразования. Это позволяет решить множество проблем технологии механической обработки. А именно расширения технологических возможностей резания труднообрабатываемых сплавов, повышения надежности работы инструмента, точности и качества обработки, снижения энергоемкости процесса резания и т. п.

Ключевые слова: вибрационное резание, резец, волновой резонатор, точность обработки, качество поверхностного слоя.

A. N. Kravtsov¹, O. I. Drachev²

CUTTING BLOCK INSERT FOR HIGH-PRECISION TURNING OF THE OUTER SURFACES OF SHAFTS

¹ONICS Scientific and Production Cooperative

²Togliatti State University

Cutting with the use of complex high-frequency oscillations of the tool of the variable component of the energy of the chip formation zone is considered. This allows solving many problems of machining technology. Namely, expanding the technological capabilities of cutting hard-to-cut alloys, increasing the reliability of the tool, the accuracy and quality of processing, reducing the energy intensity of the cutting process, etc.

Keywords: vibration cutting, cutter, wave resonator, processing accuracy, quality of the surface layer.

Часто, в литературе [1; 2] описываются устройства, содержащие резец с упругим элементом, реализующий механизм бреющего резания. Из очевидных недостатков данных устройств замечена невозможность регулирования жесткости резца и собственной частоты его колебаний, достижения не высокой шероховатости и точности обработки. А также, невозможность управления формой вибраций и сложностью настройки на уровень комплексных вибраций. Для решения этих проблем вводится волновод в конструкцию резцов.

Режущая вставка резцов содержит рабочую часть и державку с упругим элементом «U»-образной формы и волноводом. Между резцовой головкой и одной из ветвей упругого элемента «U»-образной формы установлен волноводный резонатор комплексных колебаний, который выполнен полым, с тремя- и более заходными винтовыми пазами на наружной поверхности. Внутри волновода установлена направляющая втулка, один конец которой жестко закреплен в теле упругой ветви, а другой установлен в теле рабочей части резцедержателя с возможностью продольного перемещения. Длина направляющей втулки выполнена кратной длине полуволны крутильных колебаний.

Повысить эффективность и производительность обработки возможно применяя режущую блок-вставку для вибрационного резания с волноводом (рис. 1–2). Эта задача решается таким образом, что устройство для вибрационной обработки валов, дополнительно, снабжено волноводом, который имеет возможность продольного перемещения по оси Z. Внутри волновода-резонатора установлена направляющая втулка для обеспечения жесткости режущей вставки. А, во внутрь направляющей втулки ввинчен регулировочный винт. Аналогичное устройство резца приведено авторами в работе [3], но без применения волнового резонатора.

Оснащение резца волноводным резонатором позволяет реализовать условия резания,

подобные вибрационному резанию, за счет использования в качестве источника ультразвуковых колебаний зону контакта инструмента и обрабатываемой детали, с передачей комплексных колебаний инструменту через зону стружкообразования. Выполнение многозаходных винтовых пазов позволяет проводить черновую и чистовую обработку одним инструментом. Это реализуется за счет возможности настройки на разные резонансные частоты зоны стружкообразования, обусловленные материалом обрабатываемой детали режимами резания. А выполнение винтовых пазов с разными радиусами позволяет проводить согласование продольных и крутильных колебаний на двух разных резонансных частотах.

Длина волноводного преобразователя (рис. 1 и 2) выбирается из условия обеспечения стабильности возбуждения высокочастотных комплексных колебаний режущего клина, по длине кратной полуволне продольных колебаний. Изготовление винтовых пазов на длине, равной полуволне продольных колебаний, с радиусом, равным полуволне крутильных (сдвиговых) колебаний, позволяет проводить на единой частоте возбуждения их согласование и усиление. Винтовые пазы 4 выполняют с радиусом, равным длине полуволны крутильных колебаний, при этом частота возмущений, возникающих в зоне стружкообразования за счет высокочастотных волновых сдвиговых колебаний в обрабатываемом материале, должна быть равна собственной частоте волновода резонатора 3 или являться одной из гармоник собственной частоты колебаний инструмента.

Рассмотрим условия применения наложения высокочастотных вибраций. Величина силы резания включает две составляющие. Постоянную и переменную, обусловленную импульсными релаксационными процессами разрушения в зоне стружкообразования, а также изменением коэффициента жесткости резания K_p . Закон изменения перемещения детали во времени включает сле-

дующие величины: круговую частоту режущего клина инструмента $\omega = 2\pi \cdot f_y$, собственную частоту колебаний инструмента f_y , фазовый угол сдвига α , K – коэффициент, жесткости техноло-

гической системы, влияющий на время контакта (t_k) инструмента со стружкой в течение одного цикла (T) колебаний инструмента, K_g – коэффициент жесткости детали.

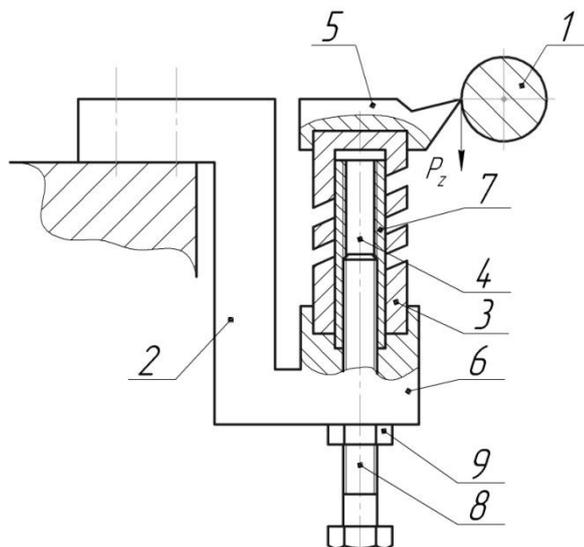


Рис. 1. Режущая вставка, реализующая принцип «бреющего» резания

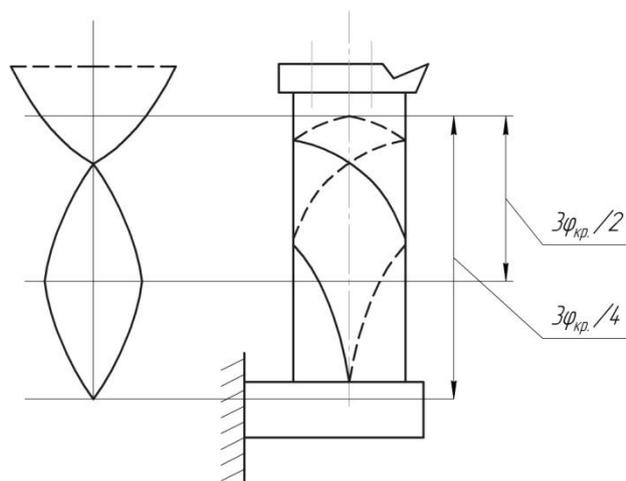


Рис. 2. Закручивание колебаний относительно оси волновода и схема формирования вибраций

Чем меньше время контакта (t_k) и чем выше частота (f) возбуждения комплексных колебаний с преобладанием крутильной составляющей ($f = 1/T$), тем меньше составляющие сил резания в процессе резания и выше точность, и качество выпускаемых изделий. Если глубину резания t_p и скорость резания V_p выбрать в про-

цессе технологической наладки таким образом, чтобы условия самовозбуждения колебаний поддерживались устойчивыми при: $f = 1/T = \text{Const}$, а время контакта t_k (время резания) будет сохраняться только в течение $(1/4) \cdot T$ периода колебаний, а закон изменения перемещения детали примет вид:

$$Y = \frac{1}{4} \cdot \frac{P(t)}{K_g} \cdot \left[1 - \text{Sin} \left(\frac{2\pi \cdot t_k}{T} - \alpha \right) \right] = \frac{1}{4} \cdot \frac{P(t)}{K_g} \cdot \frac{P(t)}{K_g} \cdot \left[1 + \text{Sin}(-90^\circ - \alpha) \right] \quad (1)$$

Поиск оптимальных режимов обработки осуществляется следующим образом. Согласно выражению (1), можно сделать выводы, см. ниже.

Для уменьшения динамических составляющих сил резания P_y и P_x , возбуждение или усиление и синхронизацию высокочастотных колебательных смещений режущего клина инструмента необходимо производить в направлении скорости резания V_p , при котором $\alpha = 90^\circ$.

При установившемся вибрационном режиме резания низкочастотные колебательные смещения линеаризуется в ортогональных направлениях, исключая изменение глубины резания и величины подачи, а, следовательно, параметр шероховатости (например, R_a), также стремится к нулю. Уменьшение составляющих сил резания при $t_k = (1/4) \cdot T$ приводит к резкому

снижению коэффициента трения по передней грани, а следовательно, к резкому уменьшению температуры в зоне резания. Чем больше величина амплитуды крутильных колебаний инструмента и их мощность, тем больше величина припуска, который можно снимать за один проход при обеспечении условия контакта $t_k = (1/3 - 1/4) \cdot T$.

Наряду с усилением и синхронизацией колебательных смещений, волновод преобразует продольные колебания в комплексные с преобладанием крутильной компоненты с помощью двух наклонных винтовых канавок волноводной длины с переменным шагом, уменьшающимся в сторону узла крепления режущего клина резца 5. Одновременно наличие винтовых канавок, позволяет не только усиливать и преобразовывать продольные колебательные

смещения в колебательные смещения разных векторных направлений, но и производить с большим быстродействием автоматическую адаптацию режущих клиньев инструмента 5. Оптимальную скорость подачи (V_s^{opt}) выбирают с учетом требуемой величины шероховатости поверхности и радиуса вершины резца (r).

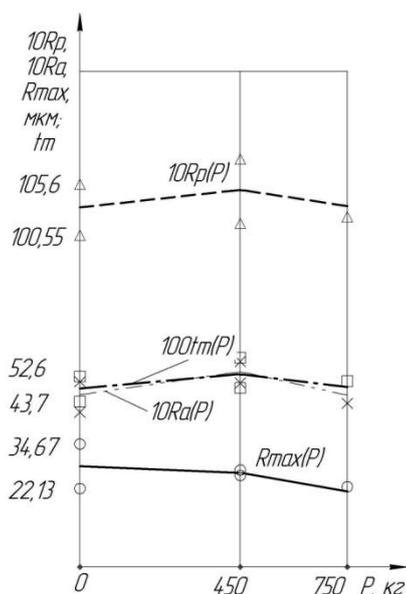


Рис. 3. Изменение параметров поверхностного слоя образцов (сталь Ст. 3) при приложении нагрузок в $P = \{0; 450; 750\}$ кгс

Действие волнового резонатора на высотные параметры шероховатости обработанной поверхности аналогично воздействию (внедрению) индентора (ролика) на эти же параметры (Сталь 3 – P6M5 ролик-плоскость). На рис. 3 и 4 показано действие при нагружении с силами 450 кгс (вариант без волнового резонатора) и 750 кгс (включение действия волнового резонатора). Условия нагружения приведены в [4], $H_p = 2,5$ мкм, $H_{max} = 20$ мкм, $S_{mw} = 1200$ мкм, $W_a = 4$ мкм.

Возрастание нагрузки вдавливания индентора соответствует увеличению частоты вибраций вершины режущей кромки резца. При этом, параметры поверхностного слоя обрабатываемых деталей стабилизируются. Таким образом, при увеличении частоты вибраций режущего элемента при включении в работу волнового резонатора, качество обработанной поверхности увеличивается, что физически

Таким образом, использование данного устройства позволяет повысить производительность обработки, качество и точность обработанной поверхности, повысить надежность работы инструмента и обеспечить стабильность форм и размеров в эксплуатационный период детали.

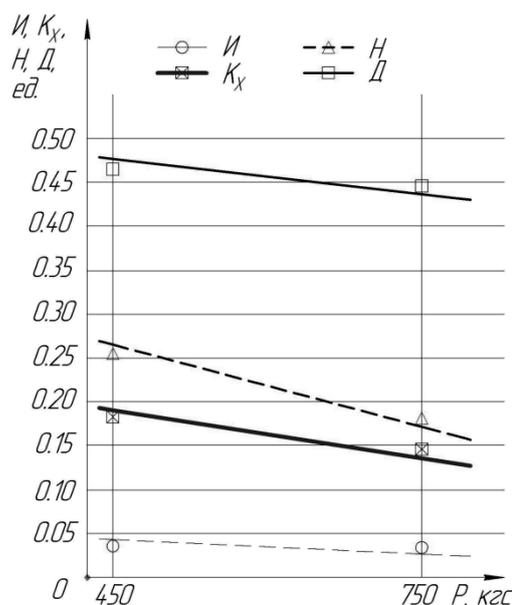


Рис. 4. Изменение комплексных параметров поверхности (см. [4]) (сталь Ст. 3) под нагрузкой $P = \{450; 750\}$ кгс

смоделировано увеличением нагрузки внедрения индентора (из более твердого материала) в поверхность из более пластичного материала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Непомнящий, В. А.* Способ настройки токарного станка для точения детали / В. А. Непомнящий, А. В. Колобков // RU 2707308 C1, B23B 25/06, B23Q 15/12. ФИПС, 26.11.2019.
2. *Hamazaki Takafumi.* Cutting tool. Toshiba Mitsubishi Elec. Ind. JP 2019089148 A, B23 B27/16 B23 B29/00, 2019.05.21.
3. Режущая блок-вставка для вибрационного точения заготовок на тяжелых токарных станках / О. И. Драчев, А. Н. Кравцов // «Инновационные технологии в машиностроении»: Международная научно-практическая заочная конференция. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – С. 85–88.
4. *Кравцов, Н. В.* Комплексные параметры состояния поверхностей деталей блочно-модульных токарных резцов / Н. В. Кравцов, А. Н. Кравцов // Журнал «Омский научный вестник». Серия: Приборы, машины и технологии. № 3 (113). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – С. 162–166.

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-29-32

*Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов***ОЦЕНКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПАРЫ ТРЕНИЯ ДИСКОВОГО ФРИКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: au@vstu.ru

Приведены триботехнические показатели пар трения из порошковых фрикционных материалов и разных стальных контртел дискового фрикционного устройства при разных скоростях скольжения и удельных давлениях, полученные в результате испытаний на машине трения и предназначенные для предварительного выбора материалов пар трения при создании надежных и долговечных фрикционных устройств трансмиссий легких гусеничных машин с большой удельной мощностью.

Ключевые слова: сухое трение, триботехнические показатели, коэффициент трения, износ, скорости скольжения, температура, машина трения, порошковый фрикционный материал, стальное контртело.

*Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov***EVALUATION OF TRIBOTECHNICAL PARAMETERS
OF THE FRICTION PAIR OF A DISC FRICTION DEVICE BASED
ON THE RESULTS OF TESTS ON A FRICTION MACHINE****Volgograd State Technical University**

Tribotechnical indicators of friction pairs made of powder friction materials and various steel counterfaces of a disk friction device at different sliding speeds and specific pressures are presented, obtained as a result of tests on a friction machine and intended for preliminary selection of friction pair materials when creating reliable and durable friction devices for light tracked vehicles with high specific power.

Keywords: dry friction, tribotechnical parameters, friction coefficient, wear, sliding speeds, temperature, friction machine, powder friction material, steel counterface.

В трансмиссиях легких транспортных гусеничных машин (ГМ) широко применяются дисковые фрикционные устройства с современными спеченными порошковыми фрикционными материалами [1; 2; 3], работающими со скоростями скольжения $V_{ск} = 60-70$ м/с и удельных нагрузок $q = 0,4-1,2$ МПа. При проектировании таких фрикционных устройств считается перспективным использование порошковых фрикционных материалов сухого трения в паре со стальным контртелом [4; 5].

При проектировании дисковых фрикционных устройств необходимо учитывать существенные изменения динамического коэффициента трения $\mu_{дин}$, износа δ , температуры t от скорости скольжения $V_{ск}$, и удельной нагрузки q для обеспечения надежной и долговечной конструкции [6].

Оценка триботехнических показателей, в первую очередь, коэффициента трения $\mu_{дин}$ и износа δ перспективных пар трения, состоящих из порошковых фрикционных материалов сухого трения и стального контртела, при проектиро-

вании дисковых фрикционных устройств трансмиссий легких транспортных гусеничных машин с большой удельной мощностью (свыше 30 л.с./Т) является актуальным вопросом.

Цель работы – определение основных триботехнических показателей перспективных пар трения при разных скоростях скольжения и удельных нагрузок в широком диапазоне их изменения с соблюдением необходимой удельной мощности трения для предварительного выбора этих показателей при проектировании дисковых фрикционных устройств трансмиссий транспортных легких ГМ с большой удельной мощностью.

Новизной являются экспериментальные значения основных триботехнических показателей перспективных пар трения из порошковых фрикционных материалов сухого трения и стального контртела в широком диапазоне скоростей скольжения и удельных нагрузок.

Для оценки исследуемых пар трения физико-механические свойства которых приведены в табл. 1, проводились лабораторные испытания

на машине трения МТ-68 [1] в режиме непрерывного нагружения при постоянной скорости скольжения, назначенной из ряда $V_{ск} = 5; 10;$

20; 25; 30 м/с и неизменном давлении нагружения, назначенным из ряда $q = 0,5; 1,5; 2,5$ МПа за установившийся период.

Таблица 1

Физико-механические свойства испытываемых материалов

Фрикционный материал	Химический состав, %	Твердость, МПа	Пористость, %	Плотность, г/см ³
СМК-137	$Mn=3-10; Cu=9; C=7-16; \text{Электрокорунд}=2,5-8; MoS_2=2-5; Fe=\text{остальное}$	33-50	15	5,7
МК-5	$Sn=9-11; Pb=6-10; C=6-8; Fe=3-5; Cu=\text{остальное}$	20-60	9-11	5,6-6,3
Плазменное покрытие (Мо)	Проволока Мо ТУ-48-19-203-85	4800-5200 Виккерс	18-21	8,15-8,2
Покрытие комбинированное (Мо _{комб})	85% площади трения покрытие Мо; 15% – сталь 65Г ГОСТ 1054-74	Тоже	Тоже	Тоже

Образцы для испытаний имели цилиндрическую форму диаметром 10 мм и высотой 15 мм. С рабочей стороны образцы проточены на глубину 2,5 мм. Рабочая поверхность образца – торец, обработанный алмазным кругом по диаметру контртела.

В процессе эксперимента фиксировались и рассчитывались следующие триботехнические свойства: время приработки трибосопряжения; линейный износ подвижного сочленения в период приработки; сила трения (коэффициент $\mu_{дин}$) установившегося износа; темп износа па-

ры трения δ подвижного сочленения в период установившегося износа; предельное давление схватывания пары трения, температура.

На каждую точку испытывались 3-5 образцов и по результатам измерений рассчитывалось среднее арифметическое значение.

На машине трения МТ-68 получены поля экспериментальных значений коэффициента трения $\mu_{дин}$, температуры t , темпа износа δ для запланированных значений $V_{ск}$ и q ; выполнена статистическая обработка экспериментальных показателей δ , $\mu_{дин}$, t ; результаты сведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний пар трения со спеченными порошковыми фрикционными материалами в режиме сухого трения

Пара трения	$V_{ск}, \text{ м/с}$	Удельная нагрузка q , МПа								
		0,5			1,5			2,5		
		$\delta, \text{ мкм/км}$	$\mu_{дин}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\delta, \text{ мкм/км}$	$\mu_{дин}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\delta, \text{ мкм/км}$	$\mu_{дин}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$
СМК-137 – сталь 40Х	5	5	0,94	70	13	0,8	100	33	0,52	105
	10	25	0,93	120	33	0,6	135	28	0,40	190
	20	35	0,9	185	40	0,46	205	45	0,32	230
	25	25	0,89	215	38	0,4	280	45	0,32	305
	30	50	0,8	260	75	0,31	295	120	0,28	315
МК-5 – сталь 65Г	5	5	0,95	60	7	0,53	95	10	0,36	140
	10	10	0,86	120	18	0,65	175	33	0,50	200
	20	12	0,81	210	12	0,81	210	35	0,35	290
	25	15	0,93	260	31	0,48	290	40	0,34	310
	30	18	0,92	300	33	0,60	290	40	0,36	340

Таблица 3

Результаты лабораторных испытаний пар трения с плазменным молибденовым покрытием в режиме сухого трения

Пара трения	$V_{ск}$, м/с	Удельная нагрузка q , МПа								
		0,5			1,5			2,5		
		δ , мкм/ /км	$\mu_{дин}$	t , °С	δ , мкм/ /км	$\mu_{дин}$	t , °С	δ , мкм/ /км	$\mu_{дин}$	t , °С
Мо – сталь 65Г	5	5	0,91	66	5	0,72	100	8	0,36	150
	10	5	0,88	140	5	0,43	180	10	0,27	220
	20	5	0,57	215	5	0,38	250	15	0,26	270
	25	5	0,45	280	10	0,3	305	20	0,24	320
	30	5	0,4	290	20	0,28	315	20	0,22	350
Мо _{комб} – сталь 65Г	5	5	0,9	72	5	0,57	98	7	0,38	160
	10	5	0,9	130	5	0,51	190	5	0,33	210
	20	5	0,45	190	5	0,31	230	10	0,27	280
	25	5	0,47	273	5	0,45	200	13	0,30	305
	30	5	0,42	295	5	0,31	325	18	0,25	338

Анализ триботехнических характеристик всех испытанных пар трения показывает, что испытываемые фрикционные материалы: МК-5, СМК-137, покрытия из молибдена обладают высокой износостойкостью. Из испытанных контртел лучшими (по износостойкости) являются высокоуглеродистые легированные стали: сталь 65Г, сталь 40Х. Указанная закономерность наблюдается для различных сочетаний фрикционного материала и контртел. Например, пара трения МК-5 – сталь 65Г является износостойкой с темпом изнашивания в зависимости от скорости скольжения и нагрузки 5–35 мкм/км. При сопоставлении перспективных пар трения, к которым относятся МК-5 – сталь 65Г, СМК-137 – сталь 40Х, Мо – сталь 65Г наблюдается следующая закономерность. Материал СМК-137 – сталь 40Х по своим свойствам превосходит известные серийные пары трения, ее тем износа $\delta = 10–40$ мкм/км, $\mu_{дин} = 0,4–0,9$. По совокупности основных фрикционных характеристик: износостойкости и коэффициента трения наиболее перспективной является пара трения МК-5 – сталь 65Г, для которой $\delta = 5–35$ мкм/км, $\mu_{дин} = 0,35–0,9$. Немного уступает ей пара трения с покрытием из молибдена (Мо – сталь 65Г обладает высокой износостойкостью, но меньшим коэффициентом трения).

По условиям работы фрикционного устройства ($V_{ск}$, и q) и полученным результатам триботехнических испытаний, например, путем линейной или сплайновой интерполяции экспериментальных значений определяются расчетные триботехнические показатели для проме-

жуточных значений $V_{ск}$, и q рассматриваемой пары трения при проектировании высокоэффективных фрикционных устройств трансмиссий транспортных легких ГМ с большой удельной мощностью, которые потом уточняются по результатам испытаний фрикционных устройств на стендах и при пробеге изделия.

Предложена оценка основных триботехнических показателей таких, как темп износа, динамический коэффициент трения, температура в зоне контакта конкретной пары трения, включающая получение экспериментальных значений этих показателей, линейную или сплайновую интерполяцию промежуточных значений в широком диапазоне изменения скоростей скольжения $V_{ск} = 5–30$ м/с и удельных нагрузок $q = 0,5–2,5$ МПа, близких к реальным условиям эксплуатации.

Установлено, что пара трения СМК 137 – сталь 40Х имеет приемлемые триботехнические показатели для использования в тяжелонагруженных дисковых тормозах. Работа может быть использована для оценки и предварительного выбора триботехнических показателей спеченных порошковых фрикционных материалов сухого трения на Fe- основе и стальных контртел при создании надежных и долговечных фрикционных устройств трансмиссий легких транспортных ГМ с удельной мощностью свыше 30 л.с./Т [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. -М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.

2. Шаповалов, В. В. Актуальные задачи современной триботехники и пути их решения / В. В. Шаповалов, А. Сладковски, А. Ч. Эркенов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015, № 1 (658), 64–75

3. Белый, В. А. Свириденко А.И. Актуальные направления развития исследований в области трибологии / В. А. Белый, А. И. Свириденко // Трение и износ. 1986 (7), №4, 593–603

4. Федорченко, И. М. Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаиоти. - Киев: Наукова думка. - 1975

5. Крыхтин, Ю. И. Спеченные материалы на Fe-основе для фрикционных устройств большой удельной мощности / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Трение и износ

ИММС НАН Беларуси. 2020. Том 41 № 2. - С 180-187.

6. Карлов, В. И. К оценке и прогнозированию триботехнических показателей пар трения из спеченного порошкового фрикционного материала с разными стальными контртелами дискового фрикционного устройства / В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (255) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 26–30.

7. Крыхтин, Ю. И. Разработка дисковых остановочных тормозов с металлокерамическими дисками в трансмиссиях ГМ и математической модели нагружения фрикционного материала / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Сборка в машиностроении и приборостроении. - 2019, № 1, 13-17.

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-32-35

Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАР ТРЕНИЯ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПЕЧЕННОГО ПОРОШКОВОГО ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И СТАЛЬНЫХ КОНТРТЕЛ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Приводятся состав и физико-механические данные, а также полученные в результате лабораторных испытаний на машине трения триботехнические показатели пар трения из экспериментального спеченного порошкового фрикционного материала сухого трения на Fe-основе МПФ1005-1 с разными стальными контртелами. Результаты испытаний и технология изготовления этого материала сравниваются с аналогичными данными для перспективного фрикционного материала СМК-137, и даются рекомендации по использованию результатов испытаний и самого материала при проектировании фрикционных устройств трансмиссии легких гусеничных машин с большой удельной мощностью.

Ключевые слова: сухое трение, триботехнические показатели, коэффициент трения, износ, скорости скольжения, удельные нагрузки, температура, машина трения, порошковый фрикционный материал, стальное контртело.

Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov

INVESTIGATION OF FRICTION COUPLES FROM EXPERIMENTAL SINTERED POWDER FRICTION MATERIAL AND STEEL COUNTER BODIES ON A FRICTION MACHINE

Volgograd State Technical University

The composition and physical and mechanical data are given, as well as the tribotechnical parameters of friction pairs from the experimental sintered powder friction material MPF1005-1 on Fe- based with different steel counterbodies obtained as a result of laboratory tests on a friction machine. The test results and manufacturing technology of this material are compared with similar data for a promising friction material SMK-137 and recommendations are made on the use of the test results and the material itself in the design of friction devices for transmission of light caterpillar machines with high specific power.

Keywords: dry friction, tribotechnical parameters, friction coefficient, wear, sliding speeds, specific loads. temperature, friction machine, powder friction material, steel counterbody.

В дисковых тормозных устройствах трансмиссий легких гусеничных машин (ГМ) с большой удельной мощностью максимальные скорости скольжения фрикционных материалов по контртелу $V_{ск \max} = 60-70$ м/с, а удельные нагрузки на них в процессе торможения

$q_{\max} = 1,2$ МПа [1]. Имеют место существенные изменения динамического коэффициента трения $\mu_{дин}$, износа δ , и температуры t от скорости скольжения $V_{ск}$, и удельной нагрузки q . Для таких условий актуальным считается совершенствование существующих и создание новых спе-

ченных порошковых фрикционных материалов сухого трения, а также развитие технологии изготовления фрикционных материалов [2; 3].

Цель работы: определение основных триботехнических показателей пар трения из экспериментального спеченного порошкового фрикционного материала МПФ1005-1 с усовершенствованной технологией изготовления в паре со стальными контртелами в условиях сухого трения при больших скоростях скольжения и удельных нагрузках в широком диапазоне их изменения путем лабораторного исследования на машине трения; сравнение полученных результатов с аналогично полученными триботехническими показателями для одной из перспективных (в тех же условиях эксплуатации) пары трения из спеченного порошкового фрикционного материала СМК-137, изготовленного по традиционной технологии, и контртела из стали 40Х.

Новизной является, во-первых, множество (поле) экспериментальных значений основных триботехнических показателей пар трения из экспериментального спеченного порошкового фрикционного материала МПФ1005-1 с усовершенствованной технологией изготовления и стальных контртел в широком диапазоне скоростей скольжения и удельных нагрузок. Во-вторых, результаты сравнительного анализа этого материала с одной из перспективных (в тех же условиях эксплуатации) пары трения из спеченного порошкового фрикционного материала СМК-137, изготовленного по традици-

онной технологии, и контртела из стали 40Х.

Традиционная технология изготовления фрикционных накладок из спеченного порошкового материала на *Fe*-основе, как, например, из СМК-137 основывается на раздельном прессовании и длительном спекании под давлением специальным образом приготовленной смеси исходных ингредиентов [4]. Для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик фрикционных устройств в условиях работы ГМ большой удельной мощности рассматривается спеченный порошковый фрикционный материал сухого трения на *Fe*-основе МПФ1005-1 с отличной (от традиционной) технологией изготовления из него фрикционных накладок.

Фрикционный материал МПФ1005-1, состав и физико-механические свойства которого представлены в табл. 1, состоит из порошков железа, олова и меди, графита; электрокорунда, обладающего хорошей теплопроводностью. МПФ1005-1 не содержит в своем составе остродефицитных и токсичных компонентов.

Новая технологическая схема изготовления фрикционных накладок, включает прокатку и грануляцию шихты для обеспечения миграции жидкой фазы при кратковременном спекании; нанесение на каркас промежуточного подслоя из карбонильного порошка никеля; прессование фрикционного материала через промежуточный слой на каркас или прокатку фрикционной накладки; кратковременное спекание без давления; окончательную калибровку давлением.

Таблица 1

Состав и физико-механические свойства материалов

Фрикционный материал	Химический состав, %	Твердость, МПа	Пористость, %	Плотность, г/см ³
МПФ1005-1	$Cu=34; C=8,9; Sn=0,4; \text{Электрокорунд}=1,8; Fe=\text{остальное};$	32–60	12–17	6,57
СМК-137	$Mn=3-10; Cu=9; C=7-16; \text{Электрокорунд}=2,5-8; MoS_2=2-5; Fe=\text{остальное}$	33–50	15	5,7

Такая технология повышает прочность соединения фрикционного слоя со стальной основой – каркасом за счет миграции жидкой фазы при кратковременном спекании и повышает производительность труда за счет ликвидации давления при спекании. Позволяет использовать более простое термическое оборудование – высокопроизводительные проходные горизонтальные печи со стабильными характеристиками вместо традиционно применяемых малопроиз-

водительных шахтных печей, обладающих нестабильными характеристиками. Дает возможность использовать высокопроизводительный метод прокатки при изготовлении гранул различных фракций компонентов и метод прокатки вместо метода прессования накладок в пресс-формах на гидравлических прессах.

Для оценки исследуемых пар трения, физико-механические свойства которых приведены в табл. 1, проводились лабораторные испыта-

ния на машине трения МТ-68 [1] в режиме непрерывного нагружения при постоянной скорости скольжения, назначенной из ряда $V_{ск} = 5; 10; 20; 25; 30$ м/с и неизменном давлении нагружения, назначенным из ряда $q = 0,5; 1,5; 2,5$ МПа за установившийся период.

Образцы для испытаний имели цилиндрическую форму диаметром 10 мм и высотой 15 мм. С рабочей стороны образцы проточены на глубину 2,5 мм. Рабочая поверхность образца – торец, обработанный алмазным кругом по диаметру контртела.

В процессе эксперимента фиксировались и рассчитывались следующие триботехнические свойства: время приработки трибосопряжения; линейный износ подвижного сочленения в период приработки; сила трения (коэффициент $\mu_{дин}$) установившегося износа; темп износа пары трения δ подвижного сочленения в период установившегося износа; предельное давление схватывания пары трения, температура.

На каждую точку испытывались 3–5 образцов и по результатам измерений рассчитывалось среднее арифметическое значение.

На машине трения МТ-68 получены экспериментальные значения коэффициента трения $\mu_{дин}$, температуры t , темпа износа δ для запланированных значений $V_{ск}$ и q ; выполнена статистическая обработка экспериментальных показателей δ , $\mu_{дин}$, t ; результаты сведены в табл. 2.

Анализ триботехнических характеристик испытанных пар трения показывает, что МПФ1005-1 обладает высокой износостойкостью и динамическим коэффициентом трения при скоростях скольжения не выше 20 м/с. Испытания этого материала со скоростью скольжения 25 и 30 м/с приводят к потере его работоспособности из-за высокого темпа изнашивания, а при нагрузках 2,5 МПа наступает катастрофический износ. По сравнению с СМК-137 материал МПФ1005-1 имеет более совершенную технологию изготовления.

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний пар трения со спеченными порошковыми фрикционными материалами в режиме сухого трения

Пара трения	$V_{ск}$, м/с	Удельная нагрузка q , МПа								
		0,5			1,5			2,5		
		δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C	δ , мкм/км	$\mu_{дин}$	t , °C
МПФ 1005-1 – сталь 65Г	5	5	0,98	70	5	0,63	79	5	0,35	102
	10	5	0,8	108	5	0,56	135	10	0,30	158
	20	20	0,82	150	50	0,5	170	95	0,28	190
	25	40	0,8	200	235	0,46	220	К. и.*	0,25	–
	30	80	0,8	240	300	0,44	240	К. и.	0,23	–
МПФ 1005-1 – сталь 40Х	5	30	0,9	80	55	0,55	90	К. и.	0,38	
	10	5	0,7	109	20	0,40	140	20	0,24	180
	20	5	0,7	180	5	0,40	215	35	0,30	225
	25	20	0,6	230	50	0,35	240	К. и.	0,22	
	30	32	0,7	280	69	0,40	315	К. и.	0,24	
МПФ 1005-1 – сталь 35Л	5	5	0,99	73	5	0,65	95	5	0,31	121
	10	5	0,90	124	5	0,56	155	30	0,24	200
	20	5	0,81	196	25	0,51	215	150	0,22	240
	25	10	0,70	240	45	0,40	244	К. и.	0,21	
	30	23	0,70	290	53	0,40	305	К. и.	0,31	
СМК-137 – сталь 40Х	5	5	0,94	70	13	0,8	100	33	0,52	105
	10	25	0,93	120	33	0,6	135	28	0,40	190
	20	35	0,9	185	40	0,46	205	45	0,32	230
	25	25	0,89	215	38	0,4	280	45	0,32	305
	30	50	0,8	260	75	0,31	295	120	0,28	315

* К. и. – катастрофический износ.

Установлено, что фрикционный материал МПФ1005-1 в паре с контртелами из сталей 65Г и 40Х имеет неплохие перспективы для использования во фрикционных устройствах при относительно невысоких $V_{ск} \leq 20$ м/с и достаточно больших удельных нагрузках $q \leq 1,5$ МПа, а пара трения СМК 137 – сталь 40Х, является перспективной по триботехническим показателям для использования в тяжело нагруженных дисковых тормозах.

Работа может быть использована при проектировании тормозных устройств сухого трения для легких ГМ с удельной мощностью свыше 30 л.с./Т. Экспериментальные поля точек, приведенные в работе, могут быть использованы для оценки и предварительного выбора триботехнических показателей проектируемых фрикционных устройств из испытанных фрикционных пар спеченных порошковых фрикционных материалов сухого трения на Fe- основе

и стальных контртел путем интерполяции приведенных значений известными математическими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. -М.: Машиностроение, 2001. - 736с.
2. Федорченко, И. М. Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаоти. - Киев: Наукова думка. - 1975
3. Крыхтин, Ю. И. Спеченные материалы на Fe-основе для фрикционных устройств большой удельной мощности / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Трение и износ ИММС НАН Беларуси. 2020. Том 41 № 2. - С 180-187.
4. Карлов, В. И. К оценке и прогнозированию триботехнических показателей пар трения из спеченного порошкового фрикционного материала с разными стальными контртелами дискового фрикционного устройства / В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (255) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 26–30.

УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-35-37

А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ТИТАНОСОДЕРЖАЩИМ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПО МЕРЕ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: leeandrej@yandex.ru

В статье показано, что при точении аустенитной стали титаносодержащим твердосплавным инструментом можно повысить эффективность обработки (увеличить путь резания до затупления и снизить время обработки) путем коррекции скорости резания по мере изнашивания инструмента.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, титаносодержащий твердый сплав, текущая интенсивность изнашивания, коррекция скорости резания.

A. A. Lipatov, Ju. L. Tchigirinsky

INCREASE EFFICIENCY OF MACHINING AUSTENITIC STEEL TITANIUM-CONTAINING CARBIDE TOOL BY CORRECTION OF CUTTING SPEED AS WEAR CHANGES

Volgograd State Technical University

In this Article shown that when turning austenitic steel titanium-containing carbide tool may increase efficiency of machining (increase the cutting path to blunting and reduce time of machining) by correction of cutting speed as wear changes.

Keywords: turning, austenitic steel, titanium-containing hard alloy, current intensity of wear, correction of cutting speed.

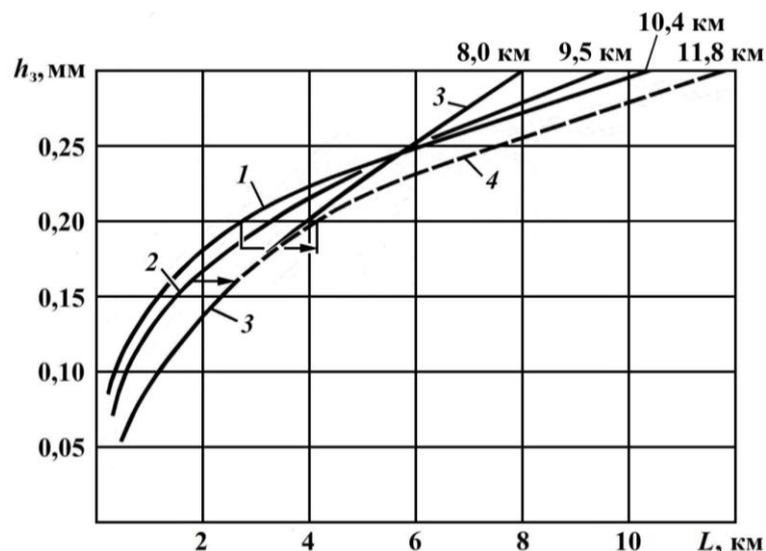
В результате проведенных на кафедре «Технология машиностроения» ВолгГТУ исследований было установлено, что при точении аустенитной стали 12Х18Н10Т резцами из титаносодержащего твердого сплава ТТ20К9 ин-

тенсивность изнашивания инструмента зависит не только от скорости резания v , но и от самой величины износа инструмента [1; 2]. Иными словами, интенсивность изнашивания следует рассматривать как текущую, изменяющуюся по

мере роста длины пути резания L и соответствующего затупления инструмента. Текущую интенсивность следует определять как $J_{ит} = dh_3/dL$ [2], т. е. как отношение малого приращения величины износа dh_3 к малому приращению пути dL . При этом речь идет не о широко известном участке приработки на кривых $h_3(L)$. Зафиксировано изменение наклона кривых вплоть до 0,2–0,25 мм («классические» участки приработки обычно наблюдаются до износа 0,08–0,12 мм) и значениях пути резания L до нескольких километров. Классическая приработка завершается в разы быстрее (при меньших значениях L)

и сопровождается намного более резким изломом на кривых $h_3(L)$.

На рисунке приведены экспериментально полученные стойкостные кривые $h_3(L)$ при точении стали 12X18H10T резцами из ТТ20К9 (подача 0,3 мм/об, глубина резания 1,5 мм; геометрия инструмента: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$). Показаны графики для трех скоростей резания – 60 м/мин (кривая 1), 90 м/мин (кривая 2) и 120 м/мин (кривая 3). Отметим, что при задействованных скоростях резания износ передней поверхности (лункообразование) практически отсутствовал – геометрия передней поверхности не изменялась.



Зависимости износа h_3 от пройденного пути L резания при точении стали 12X18H10T резцами из ТТ20К9 с различными скоростями резания:

1 – $v = 60$ м/мин; 2 – $v = 90$ м/мин; 3 – $v = 120$ м/мин; 4 – кривая, построенная для случая двухступенчатого уменьшения скорости v от 60 м/мин до 90 м/мин и последующего – до 120 м/мин

Из рисунка видно, что при малых величинах износа h_3 текущая интенсивность изнашивания $J_{ит}$ минимальна для $v = 120$ м/мин, а максимальна – для $v = 60$ м/мин. При больших значениях h_3 все наоборот: для $v = 120$ м/мин резец изнашивается быстрее, для $v = 60$ м/мин – гораздо медленнее. Проводя обработку не с фиксированной скоростью резания, а изменяя скорость v в ходе обработки по критерию минимизации текущей интенсивности изнашивания, можно достичь большего результирующего пути резания до затупления. В рассматриваемом случае начинать обработку следует на больших скоростях резания, а завершать (по мере приближения к критерию затупления – 0,3 мм) – на меньших.

На рисунке показано построение предполагаемой кривой износа $h_3(L)$ (кривая 4) для случая двух изменений (уменьшений) скорости v после

достижения определенной величины износа: сначала – от 120 до 90 м/мин (при $h_3 = 0,16$ мм), затем – от 90 до 60 м/мин ($h_3 = 0,2$ мм). Скорость изменяли при таких величинах h_3 , при которых сравнивались текущие интенсивности изнашивания для большей и меньшей скорости (касательные к графикам имели одинаковый наклон). Переход от скорости 120 м/мин к 90 м/мин на рисунке реализован горизонтальным смещением продолжения кривой 2 до совпадения его начала с кривой 3 (смещение по L от 1,8 до 2,6 км). Последующий переход от 90 к 60 м/мин произведен горизонтальным смещением продолжения кривой 1 до совмещения с новой кривой 4 (смещение по L от 2,7 до 4,15 км). Переходы показаны горизонтальными прямыми со стрелками. Построенная «трехскоростная» кривая 4 показана на рисунке штриховой линией.

Достижимые во всех случаях значения длины пути резания до затупления (критерий – $h_3 = 0,3$ мм) указаны на рисунке. Как видно, при ступенчатом изменении скорости величина L (11,8 км) на 13,5 % больше, чем наибольшая из достигаемых для фиксированных скоростей резания (при 60 м/мин – 10,4 км). Здесь интересно рассмотреть такой (казалось бы, устаревший) показатель, как стойкость. В данном случае он выступает скорее как негативная характеристика производительности обработки – чем больше время, за которое будет пройден тот или иной путь резания, тем ниже производительность. Так вот, при обработке с фиксированной скоростью 60 м/мин критерий затупления $h_3 = 0,3$ мм достигается за время $T = 10400/60 = 173$ мин. При рассмотренном случае с двумя изменениями скорости резания это время составляет 165 мин (получено суммированием времен обработки с отдельными скоростями). Снижение времени резания (т. е. повышение производительности) невелико – всего 4,6 %. Однако оно сопровождается увеличением пути резания до затупления на 13,5 %. Суммарное повышение эффективности обработки представляется уже существенным.

Если же произвести подобные элементарные расчеты для меньшего критерия затупления $h_3 = 0,25$ мм, то позитивный эффект от описанного выше двукратного уменьшения скорости резания (в тех же точках) оказывается еще больше: 23 % по возрастанию длины пути резания и 6,6 % по снижению времени обработки. Таким образом, целесообразность и эффективность предлагаемого мероприятия несколько возрастает по мере изменения характера обработки в сторону получистовых и чистовых операций.

Рассмотренные умозрительные выкладки и построения были подтверждены экспериментально – при стойкостных испытаниях, в ходе которых дважды снижалась скорость резания (от 120 до 90 м/мин при $h_3 = 0,16$ мм и от 90 до 60 м/мин после достижения износа $h_3 = 0,2$ мм). Экспериментально полученная кривая $h_3(L)$ оказалась статистически неразличимой с теоретически предсказанной кривой 4 на рисунке. Следовательно, все приведенные в статье выводы могут быть целиком и полностью отнесены к практике токарной обработки аустенитных сталей титаносодержащим твердосплавным инструментом

Результаты настоящих исследований могут быть полезными при разработке адаптивных систем, использующих для повышения эффективности обработки коррекцию скорости в процессе резания. Можно и элементарно запрограммировать изменение скорости в ходе эксплуатации резца (по времени резания или количеству обработанных деталей).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Липатов, А. А. Оптимальная скорость резания при точении аустенитной стали / А. А. Липатов // СТИН. – 2003. – № 2. – С. 25–27.
2. Липатов, А. А. Зависимость интенсивности изнашивания титаносодержащего твердосплавного инструмента от степени его затупления при точении аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (173) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 22–24.
3. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
4. 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.

УДК 681.39

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-37-40

М. Ю. Полянчикова, И. С. Попова, А. А. Кожевникова

СИСТЕМА СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: irina.popova41@gmail.com

Рассматривается возможность применения координатно-измерительной машины (КИМ) модели «Аxiom too» с программным обеспечением «Aberlink 3D» с целью анализа процедуры статистического контроля на предприятии.

Ключевые слова: координатно-измерительная машина, статистика, контроль, анализ, отклонение, измерение, статистический контроль.

M. Yu. Polyanchikova, I. S. Popova, A. A. Kozhevnikova

STATISTICAL CONTROL SYSTEM OF A COORDINATE MEASURING MACHINE

Volgograd State Technical University

The possibility of using a coordinate measuring machine (CMM) of the «Axiom too» model with the «Aberlink 3D» software is considered in order to analyze the statistical control procedure at the enterprise.

Keywords: coordinate measuring machine, statistics, control, analysis, deviation, measurement.

Развитие технологий невозможно без качественного контроля. Широкое использование станков с числовым программным управлением в производстве увеличило требование к используемым средствам контроля [1], адекватным ответом было использование в контроле координатных измерительных машин (КИМ). Современные КИМ представлены широким модельным рядом, что позволяет выбрать машину в соответствии с решаемыми измерительными задачами, условиями (температура, давление, влажность, запыленность) и финансовыми возможностями предприятия. КИМ универсальна: контрольно-измерительные операции можно осуществлять как на этапе освоения, так и при серийном выпуске деталей, а также позволяет за одну установку проконтролировать практически все нормируемые параметры, и в лаборатории, и в цеховых условиях.

Основное преимущество современных КИМ – возможность полной автоматизации как на этапе реализации координатного метода измерений, так и на этапе обработки результатов этих измерений. Кроме того, мы получаем возможность осуществлять контроль качества

габаритных деталей сложных поверхностей с повышенной точностью и достоверностью результатов измерений [2].

При стабильном технологическом процессе на КИМ ведутся выборочные измерения деталей и статистическая обработка результатов измерений. Частота измерения и число деталей в выборке определяются степенью стабильности технологического процесса.

Программное обеспечение «Aberlink 3D» собирает информацию о партии так же, рассчитывает несложную статистическую информацию и печатает гистограмму и график разбросов размеров для любого размера в исследовании.

Для того, чтобы собрать эту информацию, когда обрабатывается партия деталей, необходимо поместить пункт «Все в ССК» («SPC All Components») в окне программ ЧПУ.

На рис. 1 показано, что после того, как вы нажали «Пуск» («Run Program»), появится следующее сообщение: «Текущие данные будут переписаны во время измерения. Хотите ли вы сохранить текущие измерения для анализа статистической информации?»

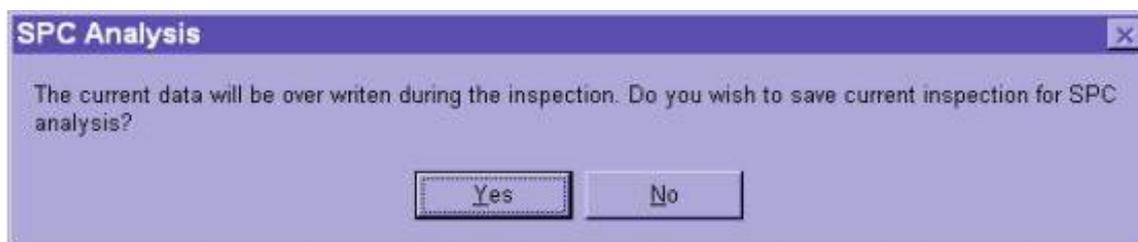


Рис. 1. Сообщение: «Текущие данные будут переписаны во время измерения. Хотите ли вы сохранить текущие измерения для анализа статистической информации?»

Если вы желаете сохранить результаты предыдущего измерения для информации о партии деталей, выберите «Да» (Yes), иначе – «Нет» («No»).

Информация о партии деталей представлена на рис. 2 и находится в меню «Детали изме-

рения» («Dimension detail»). Для того, чтобы увидеть ее, нажмите правой кнопкой мыши на размерную линию. Например, если выбрать размер между отверстием и краем детали, номинальное значение которого 10,5 мм:

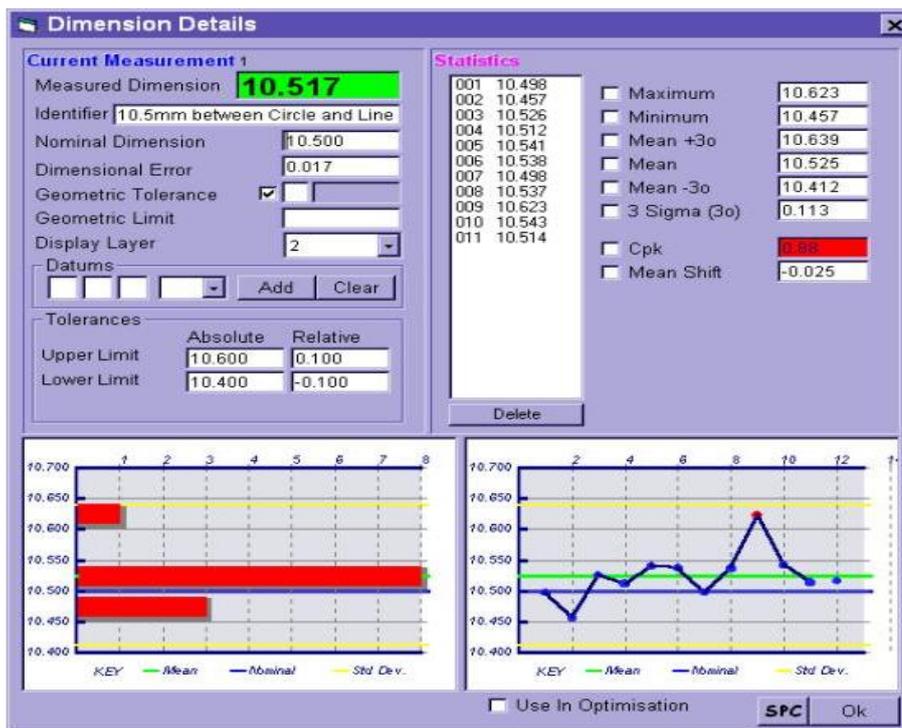


Рис. 2. Информация о партии деталей «Детали измерения» («Dimension detail»)

Последний результат измерения показан большим шрифтом в поле «Текущее измерение» («Current Measurement»), а размеры предыдущих измерений детали показаны списком, под заголовком «Статистика» (Statistics).

Для партии деталей программное обеспечение вычисляет следующие величины:

- а) максимальное значение;
- б) минимальное значение;
- г) среднее +3 сигма значение;

- д) среднее значение;
- е) среднее -3 сигма значение;
- ж) 3 сигма значений для партии;
- з) Значение 3 Срк для партии деталей;
- и) среднее смещение Ср для партии деталей.

В дополнение к этому, получается график разброса размеров представленный на рис. 3 и график гистограммы, представленный на рис. 4, для результатов в партии деталей. Чтобы увеличить данные графики, нужно нажать на них.

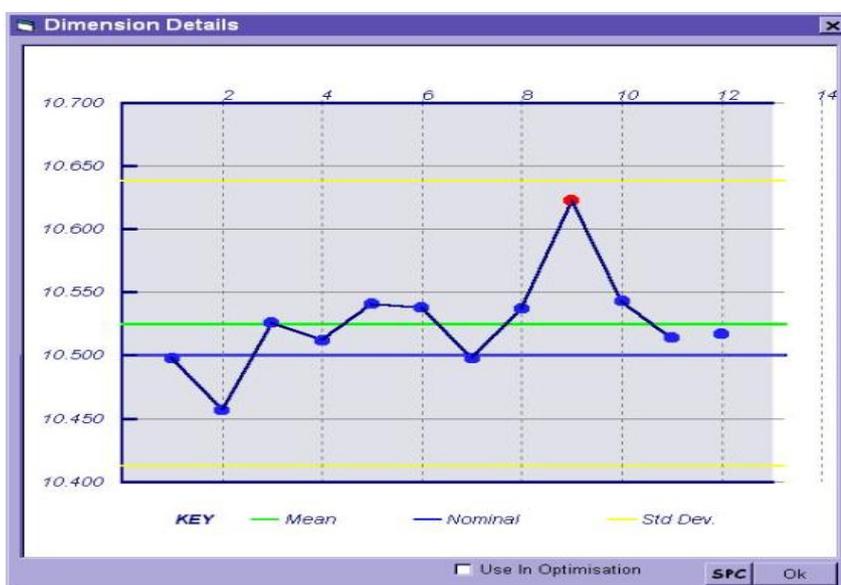


Рис. 3. График разброса

График разбросов (отклонений) показывает среднее, номинальное и плюс-минус сигма значения. Измерения внутри предела показаны как голубые точки, измерения вне предела – как

красные точки. Для возврата в исходный вид нажмите на график еще раз. Для увеличения гистограммы нажмите на нее.

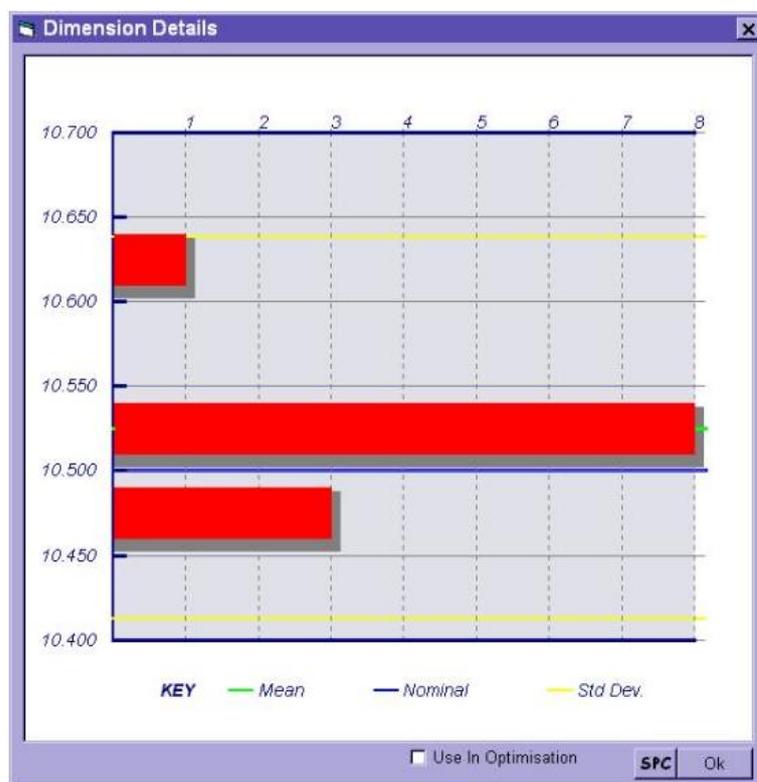


Рис. 4. График гистограммы

Вновь показаны среднее, номинальное значение и плюс-минус сигма значения. Для возврата в исходный вид нажмите на гистограмму еще раз. Для возврата на главный экран нажмите «Ок».

Таким образом, программное обеспечение «Aberlink 3D» позволяет собирать статистическую информацию о деталях, выводить отчеты в виде статистических графиков и диаграмм, а это в свою очередь дает возможность быстро реагировать и совершать коррекционные действия для устранения причин несоответствия на производстве и как следствие, гарантировать качество измеряемых параметров [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леун, В. И. Метрологические и конструктивные особенности принципов построения приборов активного контроля размеров средних диаметров резьб на операциях резьбошлифования / В. И. Леун, Е. В. Николаева. СТИН. № 10, 2014. – С. 37-39.
2. ГОСТ Р ИСО 10360-2-2017. Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, применяемые для измерения линейных размеров. – Введ. 01.01.2019 – Москва: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
3. Федюкин, В. К. Управление качеством производственных процессов: учеб. пособие для вузов / В. К. Федюкин. -2-е изд., стер. -Москва: КноРус, 2016. -230 с.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-41-43

*В. А. Солодков, С. И. Кормилицин***ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: v-a-solodkov@yandex.ru

В статье рассматривается формирование единой контактной зоны в условиях обработки прерывистого резания. При этом вид и форма контактной зоны практически ничем не отличаются от того, что имеет место при установившемся резании. Отличительные особенности наблюдаются в размерах, прежде всего, в высоте, а также в характере изменения микротвердости.

Ключевые слова: пластическое деформирование, контактная зона, прерывистое резание.

*V. A. Solodkov, S. I. Kormilitsin***FEATURES OF PLASTIC DEFORMATION
IN THE CONTACT ZONE UNDER INTERRUPTED CUT****Volgograd State Technical University**

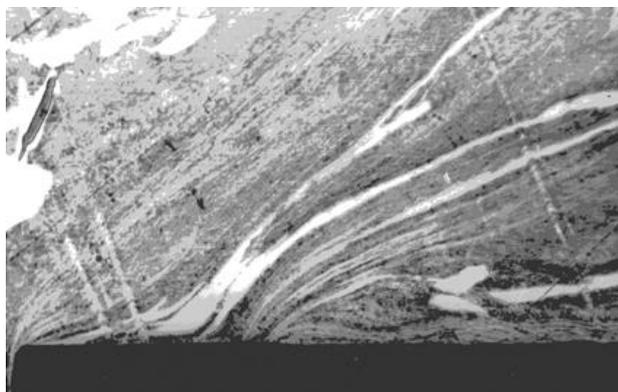
The article discusses the formation of a single contact zone under conditions of interrupted cutting. At the same time, the type and shape of the contact zone practically does not differ from what takes place during steady cutting. Distinctive features are observed in size, primarily in height, as well as in the nature of the change in microhardness.

Keywords: plastic deformation, contact zone, interrupted cutting.

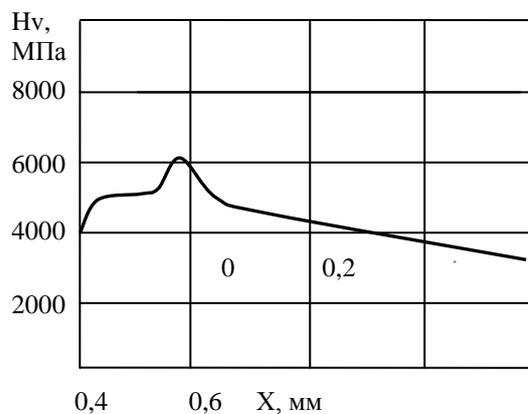
Как показывает анализ корней стружек, полученных в различных точках от начала резания, в этот период с большой скоростью происходит формирование контактной зоны до вида, типичного для установившегося резания. Адгезионное взаимодействие вновь образующейся стружки с передней поверхностью инструмента возникает практически в момент резания и начинается на некотором удалении от режущей кромки. Об этом свидетельствуют, во-первых, изгиб линий текстуры (рис. 1, а) в направлении к передней поверхности инструмента (из-за торможения стружки), а во-вторых, пик микротвердости, вызванный упрочнением

обрабатываемого материала вследствие начавшейся в этот момент и в этом месте пластической деформации (рис. 1, б).

Следует отметить, что начало адгезионного взаимодействия не на режущей кромке, с максимальными нормальными давлениями [1], а на некотором удалении от нее, по-видимому, связано с тем, что именно в этом месте достигается уровень температур, необходимый для установления адгезионных связей. Можно предположить, что от режущей кромки до этого места начальный участок стружки, перемещаясь, взаимодействует с передней поверхностью по механизму внешнего трения.



а



б

Рис. 1. Контактная зона (а, х250) и микротвердость в ней (б) при длине $L = 0,8$ мм

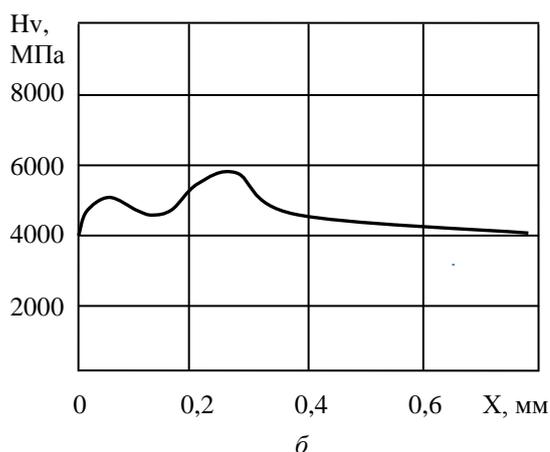
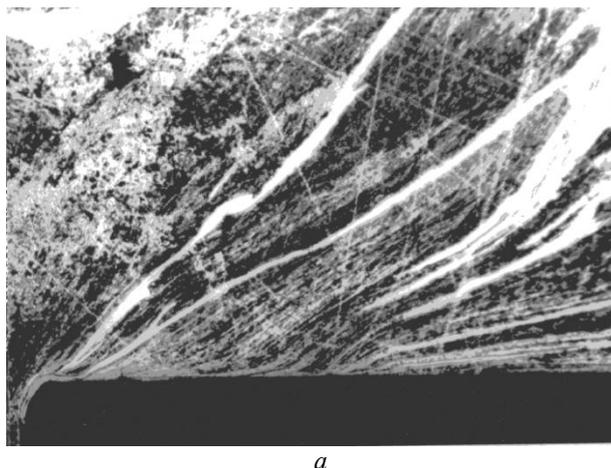


Рис. 2. Контактная зона (*a*, $\times 250$) и микротвердость в ней (*б*) при длине $L = 2,5$ мм

На рис. 2, *a* показан корень стружки после 2,5 мм резания. Контактная зона и характер изменения микротвердости имеют качественно иной вид. Контактное пластическое течение на второй части контакта имеет более развитый вид, а на кривой микротвердости появляется еще один максимум (рис. 2, *б*). Этот максимум находится на первой части контакта вблизи режущей кромки и связан, очевидно, с зарождением здесь под действием максимальных нормальных давлений и растущих температур еще одного участка контактного пластического течения. Необходимо отметить, что этот пик прослеживается только в слое материала, расположенном на расстоянии 15 мкм от передней по-

верхности инструмента. Выше, уже на расстоянии 30 мкм он отсутствует [2].

При длине резания 9,5 мм, вновь происходит качественное изменение вида контактной зоны (рис. 3, *a*). Кроме еще более развитого уже существующего контактного пластического деформирования, на второй части контакта появляются следы контактного течения вблизи режущей кромки. То, что это образование не нарост, свидетельствуют линии текстуры внутри этой зоны, а характер изменения микротвердости говорит об имеющих место процессах упрочнения и разупрочнения (рис. 3, *б*). Также это означает появление источника тепла большой интенсивности практически на самой режущей кромке.

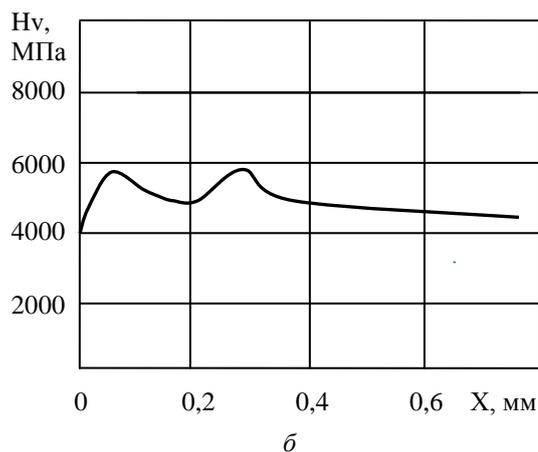
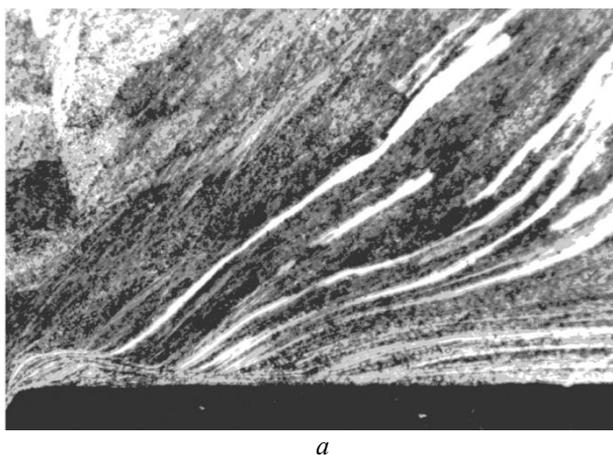


Рис. 3. Контактная зона (*a*, $\times 250$) и микротвердость в ней (*б*) при длине резания $L = 9,5$ мм

Похожий вид имеет так называемая зона относительного застоя, формирующаяся при определенных условиях при непрерывном резании [3]. Как правило, такой вид контактного взаимодействия образуется при обработке уг-

леродистых и легированных сталей инструментальными материалами, имеющими пониженную теплопроводность. При этом наличие в верхней части зоны контактных пластических деформаций с повышенными скоростями де-

формации и следовательно повышенной интенсивности тепловыделений приводит к повышению температуры в верхних слоях до уровня температуры разупрочнения и образованию тонкой полосы локализации процесса пластического деформирования. Между полосой локализации и передней поверхностью инструмента существует зона относительного застоя, в пределах которой металл, находясь в состоянии пластического течения, перемещается с малой скоростью вдоль передней поверхности инструмента.

Мгновенная картина, зафиксированная на рис. 3, *а* и 3, *б* не означает, что материал, упрочнившись и разупрочнившись на первой части контакта, затем, на второй части контакта вновь упрочняется и разупрочняется. Поскольку процесс является переходным и неустановившимся, то на второй части контакта упрочняются и разупрочняются объемы материала, попавшие ранее в контакт, когда еще не началось формирование контактной зоны на первой части контакта. С другой стороны, объемы материала, деформирующиеся в данный момент на первой части контакта позже поступили в контактную зону и после разупрочнения при последующем контактном течении вдоль пе-

редней поверхности эти объемы будут продолжать разупрочняться. Другими словами, контактная зона на первой части контакта увеличиваясь в размерах, как бы поглощает вторую контактную зону (контактное течение на которой уже существует, возникнув ранее).

Формирование единой контактной зоны в принятых условиях обработки завершается уже при длине пути резания около 15 мм. При этом ее вид и форма практически ничем не отличаются от того, что имеет место при установившемся резании. Отличия только в размерах, и прежде всего в высоте. Это подтверждается также и характером изменения микротвердости – различия только в количественных характеристиках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зорев, Н. Н. О взаимодействии процессов в зоне стружкообразования и в зоне контакта передней поверхности инструмента / Н. Н. Зорев // Вестник машиностроения, 1963, №12, 42-50 с.
2. Солодков, В. А. Физические основы контактных процессов при прерывистом резании: монография / В. А. Солодков; ВолгГТУ. - Волгоград, 2018. - 155 с.
3. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.

УДК 621.9.015

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-43-46

Ю. Л. Чигиринский, Н. И. Грибанова, Ву Ван Занг

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Приведены результаты сравнительного анализа технологических допусков черного, чистового и тонкого фрезерования торцовыми фрезами при обработке стальных заготовок и заготовок из цветных металлов и сплавов. Технологические допуски рассматриваемых методов обработки стальных заготовок определены в результате обобщения данных, приведенных в справочных технологических изданиях. Данные о достигнутом качестве многопереходного фрезерования получены в результате исследований в условиях действующего серийного производства. Показана существенность различий справочных рекомендаций и результатов реального производства.

Ключевые слова: таблицы точности, технологический допуск, многопереходная обработка, вероятностная таблица точности.

Ju. L. Tchigirinsky, N. I. Gribanova, Vu Van Giang

PRECISION AND QUALITY INCREASING WITH MULTISTAGE MILLING THE NON-FERROUS METALS AND ALLOYS

Volgograd State Technical University

The results of a comparative analysis of technological tolerances for roughing, finishing and fine milling with face mills in the processing of steel non-ferrous metals and alloys blanks are presented. Technological tolerances of the considered methods of processing steel blanks had determined as a result of generalization of the data given in general machine-building reference technological publications. Data on the achievable indicators of the quality of processing at the considered technological transitions were obtained as a result of research in the conditions of the current mass production. The materiality of differences between the reference recommendations and the results of real production is shown.

Keywords: accuracy tables, technological tolerance, multi-pass processing, probabilistic accuracy table.

Вопросы, связанные с формализацией начальных этапов технологического проектирования, приобретают особую актуальность при переходе к «цифровым» производствам в современном машиностроении. Базовые принципы комплексной цифровизации металлообрабатывающих производств предполагают не только активное применение цифровых технологических комплексов непосредственно при выполнении операций обработки заготовок, но и на стадии технологической подготовки производства. Ранее [8] мы обсуждали проблемы, связанные с формализацией начальных этапов технологического проектирования, в частности, с построением алгоритмов проектирования последовательности механической обработки поверхности заданной точности и качества. Разделение понятий точность и качество в наших работах объясняется исключительно устоявшимися традициями: «точность» изделия или отдельных его поверхностей относится к геометрическим параметрам – размеры, взаимное расположение, форма; «качество» рассматривается применительно к микрогеометрическим и физико-механическим характеристикам отдельной поверхности изделия. Мы полагаем, что такая трактовка не противоречит нормативному [3] определению комплексного понятия «качество продукции». Рекомендации в отношении технологических допусков методов механической и физико-технической обработки, приведенные в справочной литературе [4; 5

и др.], сводятся к формальному изменению технологических допусков на один квалитет (одну степень) при проектировании маршрутных технологий для изделий из цветных металлов и сплавов.

Целью настоящего исследования является уточнение технологических допусков наиболее распространенного метода обработки плоских поверхностей на различных стадиях технологического маршрута применительно к обработке цветных металлов и сплавов. Обрабатываемые материалы: титановые деформируемые сплавы ПТ-3В и ВТ1-0 (ГОСТ 19807–91), алюминиевые сплавы АМг5 и АМг5.М (ГОСТ 21631–76). Рассматривается изменение точности геометрических размеров (квалитет точности *IT*) и качества (среднее арифметическое отклонение высоты микронеровностей *Ra*), достижимое при черновом, чистовом и тонком торцовом фрезеровании. Технологические режимы обработки соответствуют рекомендуемым для конкретного технологического перехода. Исследования проведены в условиях действующего серийного производства. Заготовка – листовая прокат.

В качестве «эталонных» – используемых для сравнения с результатами производственного эксперимента, – данных (табл. 1) рассмотрены обобщенные [7; 8] справочные рекомендации [1; 2; 4; 5; 6]. Погрешность параметра, характеризующего точность / качество перехода фрезерной обработки оценивается по фактической величине технологического допуска.

Таблица 1

Технологические возможности фрезерных переходов при обработке стали – «эталонные» данные

Технологический переход	Шероховатость, <i>Ra</i> , мкм		Точность, <i>IT</i>	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Фрезерование черновое	5,36	6,24	12	15
Фрезерование чистовое	2,72	3,17	10	12
Фрезерование тонкое	1,36	1,48	7	9

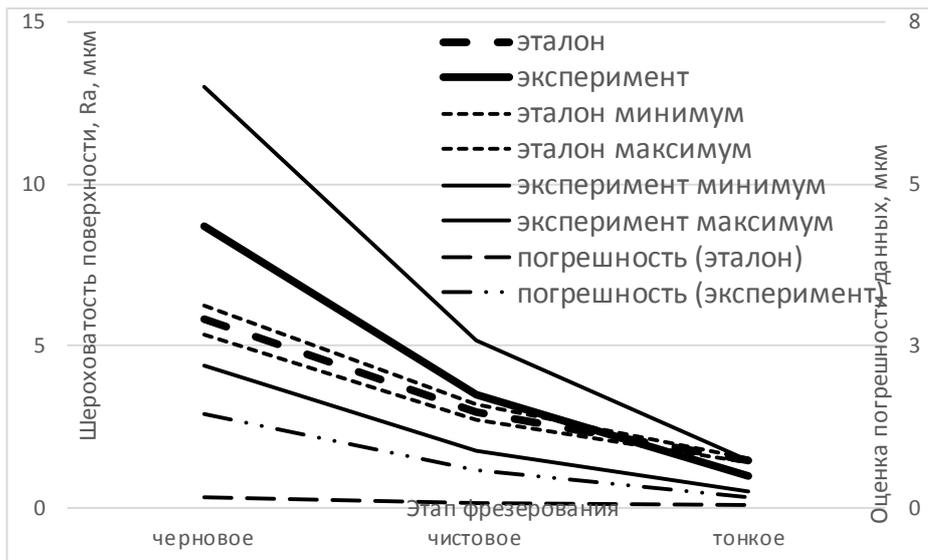


Рис. 1. Изменение показателя качества поверхности при многопереходном фрезеровании

Таблица 2

Технологические возможности фрезерных переходов (производственный эксперимент)

Технологический переход	Шероховатость, Ra, мкм		Точность, IT	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Фрезерование черновое	4,40	13,00	11,0	12,0
Фрезерование чистовое	1,76	5,15	9,5	10,0
Фрезерование тонкое	0,48	1,43	7,0	8,5

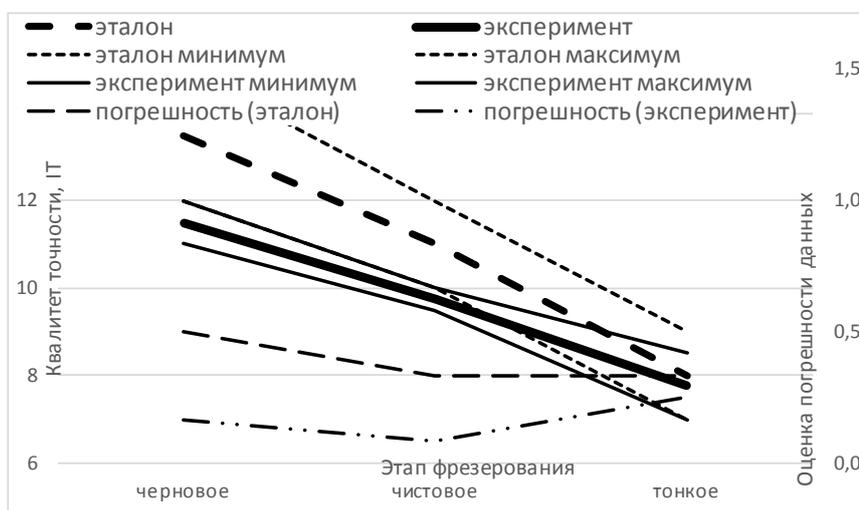


Рис. 2. Изменение показателя точности при многопереходном фрезеровании

Вероятностную оценку стабильности (табл. 3) технологических переходов фрезерования в условиях реального производства (см. табл. 2) и однородность обобщенных справочных данных (см. табл. 1) оценим [8; 9] по величине коэффи-

циента вариации v , исходя из предположения о равновероятном – т. наз., «пессимистический» [8] прогноз, – распределении данных в пределах технологических допусков.

Оценка стабильности и однородности данных по величине коэффициента вариации

Технологический переход	Эксперимент		Справочник	
	$v_{ГТ}$	v_{Ra}	$v_{ГТ}$	v_{Ra}
Фрезерование черновое	0,035	0,400	0,090	0,061
Фрезерование чистовое	0,021	0,397	0,074	0,062
Фрезерование тонкое	0,078	0,403	0,101	0,034

Рассматриваемые технологические переходы следует считать достаточно стабильными с точки зрения обеспечения геометрической точности (для коэффициента вариации $v \leq 0,17$ вероятностная оценка однородности [8] $P \geq 0,999$). Также, однородными и для параметра точности и для параметра качества обработанной поверхности являются обобщенные справочные данные.

Вместе с тем следует отметить, что значения коэффициента вариации для процессов формирования микропрофиля в реальном производстве свидетельствуют о неоднородности данных ($v \geq 0,33$), т. е., о нестабильности ($P \leq 0,95$) технологических переходов фрезерования плоских поверхностей заготовок из цветных металлов и сплавов. Такой же заключение можно сделать из анализа экспериментальных кривых на диаграмме качества поверхности (см. рис. 1). Сопоставление технологических допусков эталонных (штриховые линии) и экспериментальных (сплошные линии) данных показывает, что погрешности оценки качества обработанной поверхности в условиях реального производства существенно – в 7...10 раз, – превышают аналогичные справочные данные.

Очевидно, что достаточно высокая однородность результатов обработки в отношении показателя точности геометрических размеров объясняется несущественными различиями в силовой нагруженности процесса фрезерования материалов со сходными прочностными характеристиками. В то же время, существенные различия теплофизических характеристик обрабатываемых материалов обуславливают различные контактные процессы в зоне резания и, соответственно, различную физическую природу формирования микрорельефа обработанной поверхности. Эти различия следует учитывать при назначении последовательности обработки.

Заключение

1. Данные о технологических допусках различных переходов фрезерной обработки, приведенные в нормативно-справочной литературе, можно считать достаточно корректными в части

оценки геометрической точности, достижимой при черновом, чистовом и тонком фрезеровании заготовок из цветных металлов и сплавов.

2. Различия в физико-химических свойствах цветных металлов и сплавов обуславливают существенные различия средних значений параметров качества обработанной поверхности и большой разброс значений достижимой при фрезеровании шероховатости.

3. Для обеспечения стабильных результатов обработки необходимо обеспечить однородность нормативно-справочных данных в части показателей достижимого при фрезеровании качества обработанной поверхности, что требует обязательной адаптации технологических справочников к условиям конкретного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабанов, А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 464 с.
2. Малов, А. Н. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А. Н. Малов. – М.: Машиностроение, 1972. – 695 с.
3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2020.
4. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Суслова. – Москва: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 756 с.
6. Справочник технолога-приборостроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. П. В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980. – 607 с.
7. Чигиринский, Ю. Л. Методика повышения надежности справочных данных / Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 13. 2011 / ВолгГТУ. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 55–61.
8. Чигиринский, Ю. Л. Обеспечение точности и качества поверхностей при многопереходной механической обработке на основе совершенствования информационных и математических средств проектирующей подсистемы САПР ТП: дисс. ... докт. техн. наук: 05.02.08, 05.13.06 / Ю. Л. Чигиринский. – Саратовский гос. техн. университет, Саратов, 2014. – 373 с.
9. Shewhart, W. A. Statistical Methods from the Viewpoint of Quality Control. – Lancaster Press, Lancaster, PA, 1939. – 501 p. – URL: <https://deming.pro/assets/statistical-method-from-the-viewpoint-of-quality-control-shewhart-walter.pdf>.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 67.02

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-47-49

А. В. Ваганов, С. С. Шемелюнас, А. А. Шведуненко, А. М. Макаров

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ 3D ПЕЧАТИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: usersnowman@mail.ru

Приводятся известные способы и конструкции, повышающие производительность 3D принтеров. Описывается метод, позволяющий уменьшить время печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D печать, 3D принтер, производительность.

A. V. Vaganov, S. S. Shemelyunas, A. A. Shvedunenko, A. M. Makarov

3D PRINTING TIME REDUCTION METHOD

Volgograd State Technical University

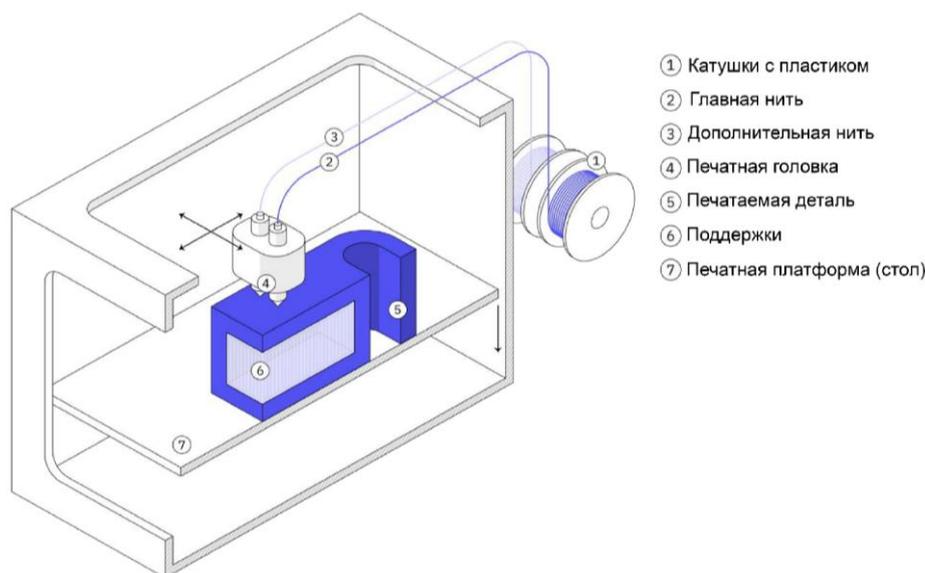
Known methods and designs that improve the performance of 3D printers are presented. Describes a method to reduce print time.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D printer, productivity.

В настоящее время классические 3D принтеры, работающие по технологиям FFF и FDM, имеют существенные недостатки. Одним из таких недостатков является длительное время печати.

Конструкция классического принтера, пред-

ставленного на рис. 1, предполагает наличие одного или двух сопел (работающих поочередно, используя основной и дополнительный материалы), которые совместно с печатным столом описывают движение в трех плоскостях и, выдавливая материал, формируют деталь [1–2].



- ① Катушки с пластиком
- ② Главная нить
- ③ Дополнительная нить
- ④ Печатная головка
- ⑤ Печатаемая деталь
- ⑥ Поддержки
- ⑦ Печатная платформа (стол)

Рис. 1. Основные элементы 3D принтера, работающего по технологии FFF

Такая конструкция позволяет изготавливать детали с производительностью около 10 грамм в час при стандартных настройках, что в разы меньше других способов, например, литьевого [3].

Самым простым способом уменьшения времени печати является применение сопел большего диаметра. Увеличивая сопло в два раза, с 0,4 мм до 0,8 мм, необходимо увеличить толщину слоя с 0,2 мм до 0,4 мм. Таким образом количество экструдированного материала увеличится в четыре раза, а время печати в четыре раза уменьшится (рис. 2). При этом качество поверхности ухудшается.

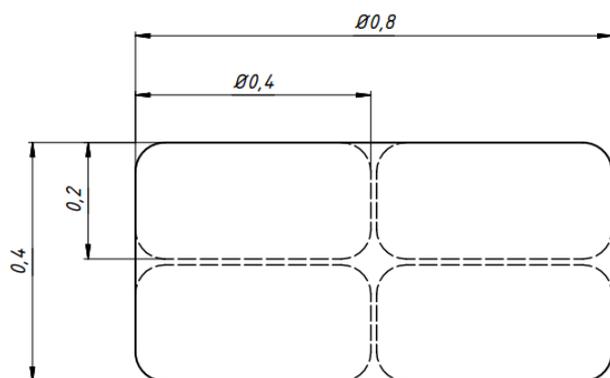


Рис. 2. Сечение материала, наплавленного разными соплами

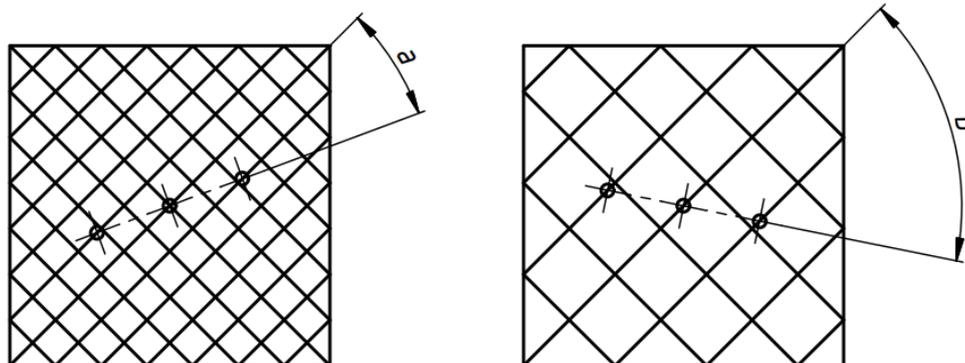


Рис. 3. Расположение сопел при печати различных заполнений

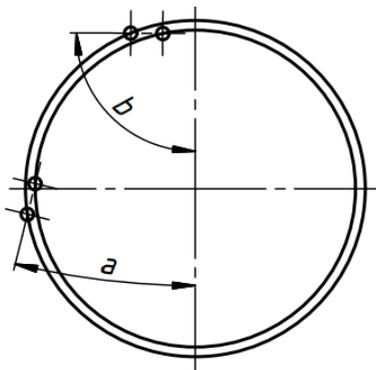


Рис. 4. Расположение сопел при печати стенок

Для повышения производительности также разрабатываются различные конструкции 3D принтеров и новые методы печати. Например, устройство, печатная головка которого содержит несколько жестко закрепленных экструдеров, позволяет описывать соплами экструдеров одинаковые траектории и, следовательно, печатать одинаковые детали одновременно. Для уменьшения времени печати одной детали разработан принтер, содержащий две независимые печатные головы, каждая из которых печатает свою часть детали [4].

Предлагаемый нами метод печати заключается в использовании многосопельных печатных головок, которые экструдировать материал для одной детали одновременно. Для осуществления данного метода печати сопла должны иметь возможность перемещения относительно друг друга, а именно вращения дополнительных сопел вокруг основного.

Печать одного слоя детали можно разделить на две составляющие: заполнение и стенки. Для печати заполнения, которое имеет геометрию сетки с изменяемым расстоянием между линиями (в зависимости от процента заполнения), необходимо повернуть сопла таким образом, чтобы в проекции движения экструдера расстояние между соплами совпадало с линиями сетки заполнения (рис. 3).

Стенки могут иметь сложную криволинейную геометрию, поэтому при печати стенок (рис. 4) сопла, в отличие от печати заполнения, должны изменять взаимное положение на протяжении всей печати криволинейных линий.

Таким образом описанный метод, заключающийся в одновременной многосопельной печати одной детали, возможен при изменении относительного положения сопел экструдера. Использование такого способа печати позволяет уменьшить время печати изделий, что при-

водит к повышению производительности принтера для аддитивного производства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимуршин, Ю. Ф. Технологии быстрого прототипирования 3D-печати / Ю. Ф. Тимуршин // Наука сегодня : задачи и пути их решения : матер. междунар. науч.-практ. конф. – Вологда, 2016. – С. 38–40.

2. Липкин, Е. Б. Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции /

Е. Б. Липкин. – Москва : Остек-СМТ, 2017. – 223 с.

3. Ваганов, А. В. Исследование удельного времени 3d печати / А. В. Ваганов [и др.] // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 50–52.

4. Торубаров, И. С. Анализ подходов к повышению производительности 3D-печати / И. С. Торубаров [и др.] // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 69–72.

УДК 67.02

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-49-51

А. Ю. Горелова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ЗАГОТОВКАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: asya.gorelowa@yandex.ru

Основной деталью теплообменных аппаратов является обечайка с большим количеством приваренных к ней патрубков. Отверстия под патрубки, центральные и тангенциальные, выполняют с использованием специальных приспособлений при помощи плазменной резки вручную, что определяет высокую трудоемкость изготовления теплообменной аппаратуры. Известные устройства для автоматизированного изготовления отверстий являются крупногабаритными и немобильными. Для снижения трудоемкости и повышения мобильности процесса вырезки отверстий требуемого качества авторами предложено автоматическое устройство, реализующее данную технологическую операцию. Выполнение отверстия в обечайке ТА возможно реализовать за счет сложения двух реверсивных движений резака: вдоль оси заготовки и вращательного вокруг ее оси.

Ключевые слова: обработка отверстий, автоматическая резка, плазменная резка отверстий, автоматическая установка.

А. Yu. Gorelova

THE AUTOMATION OF THE HEAT EXCHANGER SHELL HOLES MACHINING OPERATION

Volgograd State Technical University

The design of the shell and tube heat exchanger includes a tube-like shell with holes to which an inlet and outlet pipes are welded. Radial and tangential holes are produced manually by means of plasma cutting with the use of specialized tools, what determines high laboriousness of heat exchangers production. Known devices for automated cutting are huge and non-mobile. An automatic device is proposed to reduce the laboriousness and increase the mobility of required quality holes cutting operation. To produce the hole in the heat exchanger shell two reversible motions are superimposed: linear motion of the cutter along the longitudinal axis of the shell and rotary motion of the shell.

Keywords: Holes Machining, Automatic Cutting, Plasma Cutting, Automatic Device.

Теплообменные аппараты (ТА) – это крупногабаритные изделия, диаметры цилиндрических обечаек которых варьируются в диапазоне 800...4000 мм, а толщины – 10...100 мм. Одной из операций при их производстве является изготовление центральных и тангенциальных отверстий под сварку с патрубками диаметром от 200...1000 мм. Эту операцию выполняют либо вручную с помощью плазменной резки и дополнительных приспособлений, либо с помощью стационарных крупногабаритных устано-

вок, что достаточно трудоемко. При этом на производстве есть потребность в мобильных установках для производства отверстий в корпусах ТА с возможностью настройки на требуемый размер.

Поэтому разработка автоматизированной мобильной установки для обработки отверстий под патрубки в заготовках корпусов ТА является актуальной задачей. При разработке автоматического устройства, реализующего рассмотренную операцию, необходимо обеспечить

способность его к переналадке на различные типоразмеры заготовок и регулирование скорости резания, в зависимости от материала и толщины металла заготовки, а также и вида отверстия (центральное или тангенциальное).

Известны устройства, которые реализуют автоматизированное изготовление отверстий в крупногабаритных корпусах [1–4], в том числе известно переносное устройство для газопламенной вырезки отверстий в трубах, к существенным недостаткам которого относится сложная переналадка устройства, требующая замены копирного кольца для изменения радиуса вырезаемого отверстия. Также движение каретки производится строго по копирному кольцу, что не позволяет вырезать отверстия сложной формы (отличной от круглой формы). Отсутствие электрических приводов не позволяет производить вырезку отверстий в автоматическом режиме.

Авторами предложено приспособление для вырезки отверстий в цилиндрических изделиях, которое содержит корпус с возможностью перемещения вокруг обрабатываемого изделия за счет симметрично установленных цепных передач, каретку с установленным на ней режущим инструментом, перемещающуюся вдоль направляющих, закрепленных в корпусе, причем каждая цепная передача дополнительно снабжена механизмом автоматического натяжения цепи, включающим звездочку натяжения, актуатор и датчик измерения натяжения цепи.

Последнее позволяет компенсировать, возникающее при изготовлении цилиндрических изделий, отклонение от цилиндричности, которое приводит к неравномерности радиуса окружности, по которой перемещаются ролики, следовательно, к неравномерности натяжения цепи, удерживающей эти ролики по мере их перемещения вокруг по окружности.

Предложенное приспособление для вырезки отверстий в цилиндрических изделиях содержит согласно рис. 1, 2 : корпус в виде пары щек 1, расположенных параллельно друг другу, в каждую из которых установлены с возможностью вращения вокруг своей оси пара опорных роликов 2 для движения по обечайке 3; цепную передачу, состоящую из пары опорных звездочек 4, звездочки 5 натяжения цепи 6, звездочки 7, расположенной на валу 8; вал 8, приводимый во вращение электроприводом 9. По двум направляющим 10, закрепленным в корпусе, движется каретка 11 с установленным на ней режущим инструментом 12. Электропривод 13

соединен муфтой с шарико-винтовой передачей 14. Актуатор 15, содержащий в себе шток 16 актуатора 15, на котором установлена звездочка 5 натяжения цепи 6, закреплен с помощью крепежа 17. На каждой из цепей 6 установлен датчик 18 измерения натяжения цепи 6. Звездочка 5 натяжения цепи 6, актуатор 15 и датчик 18 измерения натяжения цепи 6 образуют механизм автоматического натяжения цепи 6, симметрично установленных цепных передач. Каретка 11 оснащена линейными подшипниками, что обеспечивает ее плавный ход по направляющим 10.

В исходном состоянии необходимо закрепить заявляемое приспособление на обечайке 3 изделия, обеспечив взаимодействие цепи 6 только с самой обечайкой 3. После этого производится натяжение цепи 6 за счет регулировки положения звездочки 5, изменяемое передвижением штока 16 актуатора 15. Далее для получения требуемой траектории и скорости движения режущего инструмента 12 включаются совместно электропривод 9 и 13 и осуществляют непрерывную передачу момента вращения. В рабочем режиме происходит непрерывное измерение степени натяжения цепи 6 датчиком 18 измерения натяжения цепи 6 и при ее отклонении от требуемого натяжения, соответственно, автоматически меняется положение штока 16 актуатора 15, что обеспечивает повышение точности вырезки отверстия.

Электропривод 9 через муфту вращает вал 8, тем самым приводя в движение цепную передачу, состоящую из звездочки 7, звездочки 5 натяжения цепи 6, опорных звездочек 4; это заставляет щеки 1 совместно отклоняться от исходного положения за счет вращения роликов 2. Тем самым задание круговой траектории движения режущего инструмента 12 осуществляется копированием поверхности обечайки 3 изделия.

Вращение от электропривода 13 муфтой передается на шарико-винтовую передачу 14, что приводит в движение каретку 11 вдоль направляющих 10 с установленным на ней режущим инструментом 12. Это обеспечивает линейное движение режущего инструмента 12 вдоль обечайки 3 изделия.

Комбинация кругового и линейного движений режущего инструмента 12 позволяет вырезать отверстия, в том числе сложной формы, в цилиндрических изделиях, что при необходимости расширяет диапазон диаметров вырезаемых отверстий, за счет смены места закрепления изделия.

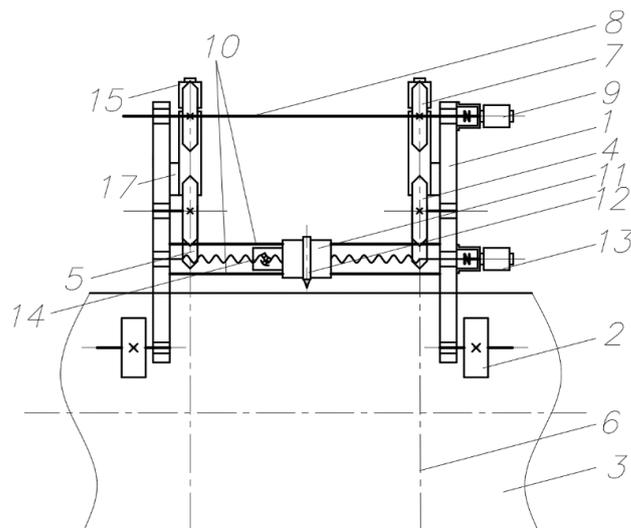


Рис. 1. Кинематическая схема приспособления для вырезки отверстий в цилиндрических изделиях

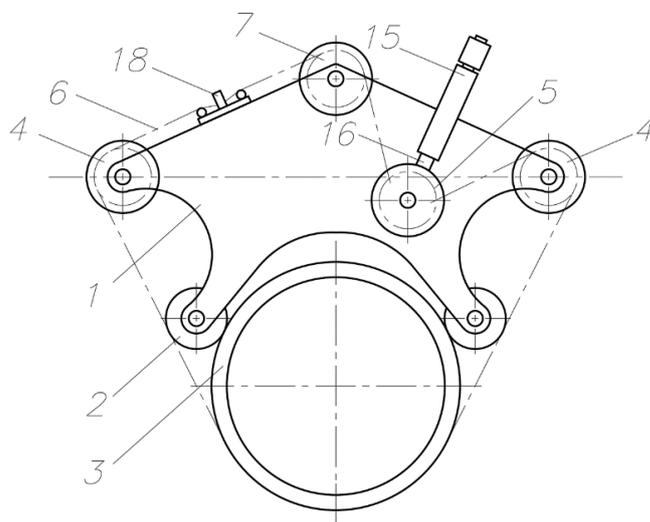


Рис. 2. Схема основных элементов цепной передачи приспособления для вырезки отверстий в цилиндрических изделиях

Данное приспособление позволяет обрабатывать широкий диапазон диаметров цилиндрических изделий, в том числе крупногабаритных, за счет возможной установки цепей с различным количеством звеньев.

Таким образом, введение механизма автоматического натяжения цепи, включающим звездочку натяжения, актуатор и датчик измерения натяжения цепи, позволяет в процессе вырезки отверстия регулировать степень натяжения цепи, а, следовательно, и степень прижатия приспособления к обечайке изделия тем самым позволяя исключить непредвиденное смещение устройства вдоль и вокруг изделия, позволяя достичь повышения точности обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2141393 Российская Федерация, МПК В23К 7/00, В23К 37/02. Переносное устройство для газопламенной вырезки отверстий в стенках труб / Ю. П. Лаптев; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "ГАКС-РЕМАРМ". – № 97121728/02; заявл. 23.12.1997; опубл. 20.11.1999, Бюл. № 34.
2. Пат. 199205 Российская Федерация, МПК В23К 7/06. Устройство для вырезки отверстий / М. В. Швецов, А. Н. Меньшаев, Ю. Г. Илларионов, В. И. Коновалов; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина. – № 199205; опубл. 21.08.2020, Бюл. №24.
3. Роботизированное выполнение отверстий под сварку в цилиндрических крупногабаритных заготовках / А. Ю. Горелова, М. Г. Кристал, В. А. Мартыненко, Ю. М. Баженский // *Technologia i Automatykacja Montazu (TiAM)* (Польша). - 2019. - №. 3 (105). – S. 11-15.
4. Пат. 2141394 США, МПК В23Д 21/00. Устройство и способ для обработки листового материала / Л. Иверсен; заявитель и патентообладатель MESTA MACHINE CO. – №US16580837A; опубл. 27.12.1992.

УДК 628.86

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-52-54

*А. А. Гуторов, Е. Г. Крылов***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОСКОЩЕЛЕВОЙ ЭКСТРУЗИОННОЙ УСТАНОВКОЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

В статье предложена методика перехода от якорного управления двигателем постоянного тока с тиристорным преобразователем к управлению асинхронным двигателем переменного тока с частотным преобразователем на установке по производству пищевой полиэтиленовой пленки.

Ключевые слова: пищевая пленка, экструзия, электродвигатель постоянного тока, тиристорный преобразователь, асинхронный электродвигатель переменного тока, частотный преобразователь.

*А. А. Gutorov, E. G. Krylov***IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE FLAT-SLOT EXTRUSION PLANT****Volgograd State Technical University**

The article proposes a method for the transition from armature control of a DC motor with a thyristor converter to control of an asynchronous AC motor with a frequency converter at a food polyethylene film production plant.

Keywords: cling film, extrusion, DC electric motor, thyristor DC converter, asynchronous AC electric motor, frequency converter.

Экструзия – технология получения изделий путем продавливания вязкого расплава материала или густой пасты через формующее отверстие. Она распространена при формовке полимеров (в том числе резиновых смесей, пластмасс), ферритовых изделий (сердечники), а также в пищевой промышленности путем продавливания формуемого вещества через формующее отверстие головной части экструдера [1].

Рассматриваемая установка по производству пищевой полиэтиленовой пленки состоит из восьми экструдеров различной мощности (от 75 до 150 кВт) и позволяет выпускать продукцию

с производительностью 250–550 кг/ч. Пищевая пленка предназначена для обеспечения сохранности продуктов во время транспортировки от производителя до склада и позволяет увеличить их срок годности.

В качестве исходного сырья на установке используются синтетические полимеры (полиамид, полиэтилен, полипропилен) в виде гранул. Перед подачей в экструдер отдельные виды сырья подлежат осушению, некоторые подлежат смешиванию с различными добавками, а иные поступают непосредственно в экструдер без промежуточных этапов (рис. 1).

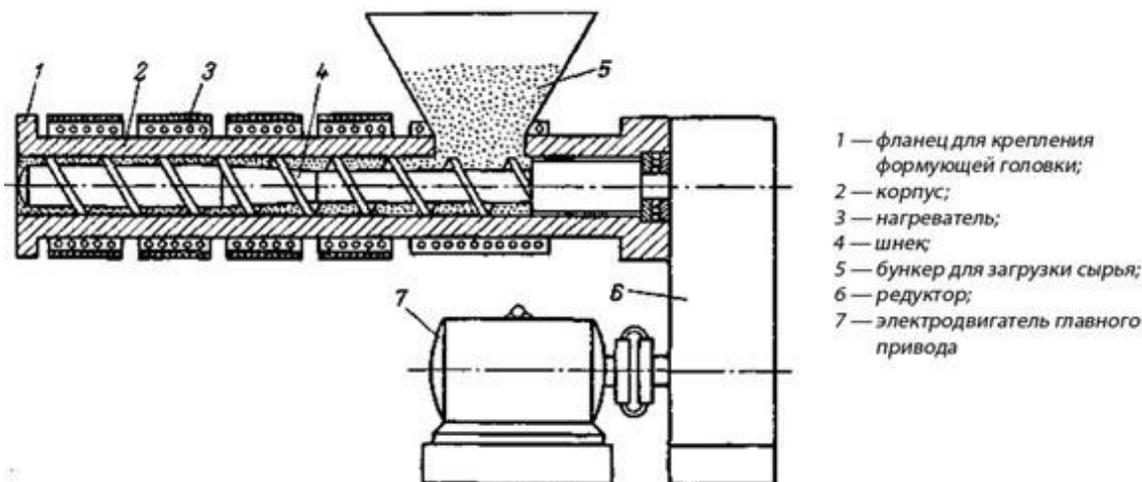


Рис. 1. Схема экструдера

Следующий этап производства – подача расплава под давлением по трубам в объединяющий блок, в котором происходит основное смешивание расплава и разделение на слои. Далее смешанный расплав поступает в экструзионную головку, где происходит формирование полотна, затем расплав под давлением выходит из головки. После выхода расплава из головки полотно ложится на протяжные валы и по ним движется к намотке.

Существующий автоматизированный электропривод протяжных валов установки представлен связкой из следующих составляющих: тиристорный преобразователь постоянного тока с независимым возбуждением, двигатель постоянного тока и редуктор. В связи с тем, что данный узел был изготовлен более 20 лет назад, он технически устарел и не позволяет выпускать продукцию на максимальной производительности.

При повышенных режимах работы установки возникают риски выхода оборудования из строя, а именно: искрообразование в коллекторе двигателя постоянного тока, нарушение соосности якоря, износ шестерен редуктора, обрыв силовых цепей тиристорного преобразователя. Указанные риски являются предпосылками для проведения модернизации автоматизированной системы управления (АСУ) [2,3].

В состав действующей АСУ входят устройства, которые в настоящее время сняты с производства:

- 1) тиристорный преобразователь постоянного тока 1395 *Digital DC Drive* компании *Allen Bradley*;
- 2) электродвигатель постоянного тока типа *Kinamatic* компании *General Electric*.

АСУ работает по схеме, представленной на рис. 2.

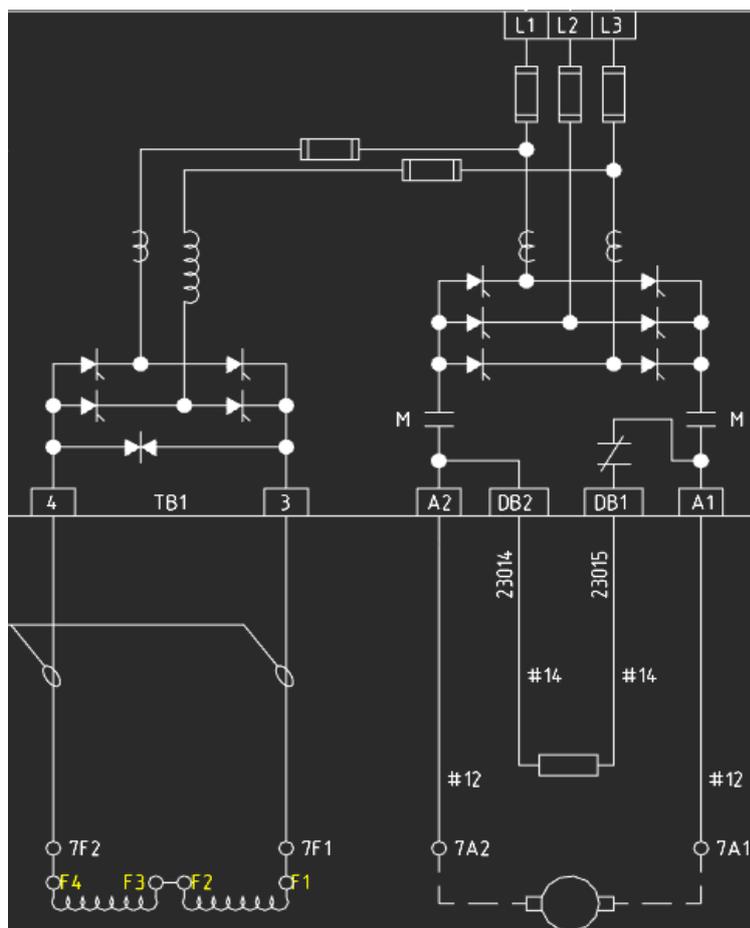


Рис. 2. Схема управления двигателем постоянного тока

Производитель систем управления электродвигателями *Allen Bradley* предлагает производить плавный переход от устаревшего оборудования к более современному путем внедрения

частотных преобразователей *Allen Bradley PowerFlex 525* [4]. Указанная замена является рациональной в связи с тем, что интерфейс программного обеспечения построен на базе

предыдущих версий и техническому персоналу необходимо меньше времени при модернизации для проведения пуско-наладочных работ. Выбор электродвигателя не представляется сложным потому, что почти все современные типы частотных преобразователей работают с любым производителем асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

На основе анализа существующих решений по разработке систем управления был выбрана продукция компании *Siemens*.

Таким образом, предлагаемый вариант АСУ включает в себя:

1) частотный преобразователь *Allen Bradley PowerFlex 525*;

2) асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором *Siemens SD100-NEMA Premium Efficiency Plus*.

АСУ будет функционировать по схеме, приведенной на рис. 3.

Использование в АСУ современного электрооборудования позволит существенно уменьшить вышеописанные риски и увеличить производительность установки до максимально возможного значения 550 кг/ч, что влияет на выход готовой продукции.

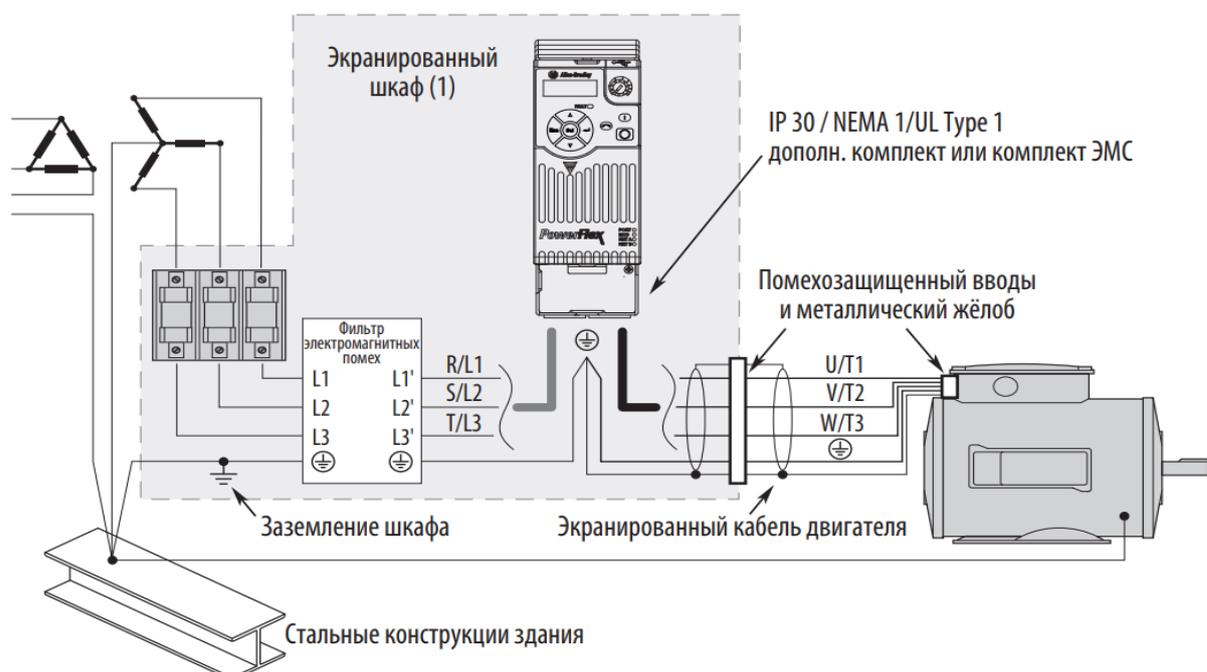


Рис. 3. Схема подключения электродвигателя к частотному преобразователю

Модернизация также положительно скажется на техническом обслуживании установки. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором достаточно прост в обслуживании, а современное управление на базе частотного преобразования позволит экономить энергоресурсы на повышенных режимах работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ермолаева, Е. В. Экструзия полимеров и литье под давлением / Е. В. Ермолаева, Ю. Т. Панов, Л. А. Чижова. – Москва : Юрайт, 2020. – 131 с.

2. Крылов, Е. Г. Решение проблемы набора рулоном статического электричества во время намотки при произ-

водстве полимерного полотна для упаковки пищи / Е. Г. Крылов, А. А. Гуров // Наука сегодня: вызовы, перспективы и возможности : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Вологда, 15 декабря 2021 г.) / Научный центр «Диспут». – Вологда, 2021. – С. 7-9.

3. Крылов, Е. Г. Модернизация электропривода узла намотки для повышения производительности плоскощелевой экструзионной линии при производстве полимерного полотна для упаковки пищи / Е. Г. Крылов, А. А. Гуров // Наука сегодня: вызовы, перспективы и возможности : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Вологда, 15 декабря 2021 г.) / Научный центр «Диспут». – Вологда, 2021. – С. 5-7.

4. Устройства управления электродвигателями. – Режим доступа: <https://www.eskovostok.ru/docs/drives/standart>

УДК 628.86

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-55-57

К. А. Калашникова, Е. Г. Крылов, Н. В. Козловцева, А. В. Капитанов
**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ
МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье описана методика разработки системы автоматизированного контроля климата тепличного комплекса с использованием регулятора на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: теплица, контроль, микроклимат, нечеткий регулятор.

К. А. Kalashnikova, E. G. Krylov, N. V. Kozlovceva, A. V. Kapitanov
**AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROL OF MICROCLIMATE
PARAMETERS OF A GREENHOUSE COMPLEX**

Volgograd State Technical University

The article describes a methodology for developing an automated climate control system for a greenhouse complex using a controller based on fuzzy logic.

Keywords: greenhouse, control, microclimate, fuzzy controller.

Современная фермерская теплица или тепличный комплекс – это конструкция из стекла, пленки или поликарбоната. Для согласованной работы инженерного оборудования в теплицах устанавливаются локальные системы управления вентиляцией, отоплением, зашториванием. Автоматизация превращает тепличный комплекс в «умную теплицу», обеспечивая высокий уровень рентабельности производства.

В общем случае АСУ теплицы содержит следующие компоненты:

- 1) первичные преобразователи температуры, влажности, уровня углекислого газа, скорости и направления ветра, солнечной радиации, освещенности;
- 2) сигнализаторы достижения предельных значений параметров;
- 3) блоки питания, коммутирующее и защитное оборудование;
- 4) панели оператора;
- 5) программируемые контроллеры.

При формировании системы автоматизации в тепличном комплексе необходимо обеспечить объединение друг с другом децентрализованных однофункциональных подсистем с целью повышения эффективности управления каждым технологическим параметром или состоянием в зависимости от комбинации одного или нескольких условий. Общая концепция проектирования состоит в том, что каждое помещение контролируется сенсорами и их текущие параметры поддерживаются с использованием:

а) автоматического управления микроклиматом путем изменения температуры и интенсивности потоков воздуха;

б) управления по расписанию – приведением параметров микроклимата к оптимальным значениям в соответствии с расписанием;

в) ручного управления на основе опыта технологов или операторов в зависимости от текущих условий процесса.

Решение поставленной задачи предполагает наличие центрального блока управления по аналогии с системами ОВКВ (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха), но ведет к снижению стабильности работы системы в случае возникновения в нем неисправностей. С целью повышения надежности системы автоматизации предлагается использовать систему распределенного управления.

Для подтверждения эффективности выбранной стратегии проектирования автоматизированной системы использовалось имитационное моделирование. Данная процедура позволяет установить, как будет вести себя система в зависимости от внешних возмущений, а также отслеживать изменения выходных параметров при подстройках коэффициентов и носителей нечетких множеств.

В качестве инструмента для моделирования использовались пакеты *Simulink* и *Fuzzy Logic Designer* программного средства *Matlab* компании *The MathWorks Inc.* Графическая среда *Simulink* позволяет провести имитационное мо-

делирование с помощью библиотек, содержащих блоки дискретной и непрерывной динамики, алгоритмические и структурные блоки. Для данного исследования применялась библиотека «Fuzzy Logic Toolbox». При построении модели системы автоматического управления параметрами технологическими процессами в среде *Matlab* был выбран блок нечеткого регулятора «Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer» и описаны передаточные функции процессов во времени.

В качестве объекта моделирования рассматривалась система с семью входными и пятью выходными параметрами. В качестве допущения при моделировании было принято, что внешние параметры объединены. Таким образом, данные поступающие из внешней климатической зоны характеризуются следующей информацией с датчиков:

$D\{ET\}$ – значения наружной температуры воздуха;

$D\{EH\}$ – значения наружной влажности воздуха;

$D\{V\}$ – скорость (интенсивность) воздуха.

Внутренние технологические процессы в системе описываются показаниями с датчиков:

$D\{IT\}$ – значения внутренней температуры воздуха;

$D\{IH\}$ – значения внутренней влажности воздуха.

Кроме этого используются результаты вычисления первых производных по времени указанных параметров.

Для построения функций принадлежности входных и выходных параметров необходимо использовать алгоритмы, на базе которых будет осуществляться работа нечеткого регулятора.

По результатам анализа был выбран алгоритм Мамдани. Регулятор в данной модели имеет семь входных лингвистических переменных:

– IT – температура в помещении;

– $\partial IT/\partial t$ – приращение температуры помещения;

– IH – относительная влажность в помещении;

– $\partial IH/\partial t$ – приращение относительной влажности в помещении;

– ET – внешние температурные условия;

– EH – относительная влажность вне помещения;

– V – скорость (интенсивность) движения наружного воздуха.

Выходными переменными являются:

– $Window$ – интенсивность работы приточной вентиляции;

– $Cooler$ – интенсивность работы охладителя;

– $Heater$ – интенсивность работы нагревателя;

– $Moisturizer$ – интенсивность работы увлажнителя;

– $Dryer$ – интенсивность работы иссушителя.

В симуляционной модели параметры разделены на два комплекса – внутренние и внешние. Звенья dq/dt и dh/dt описывают процесс изменения внутренних тепловых и влажностных параметров соответственно посредством инфильтрации и насыщения через систему вентиляции. Звенья $IT\ modifying$ и $IH\ modifying$, как следует из названия, также описывают изменения данных параметров, но уже путем непосредственного влияния на них исполнительных устройств, таких как нагреватель, охладитель, увлажнитель и иссушитель. В зависимости от параметра воздействия сигналы объединены в группы $T_{упр}$ и $H_{упр}$ (рисунок).

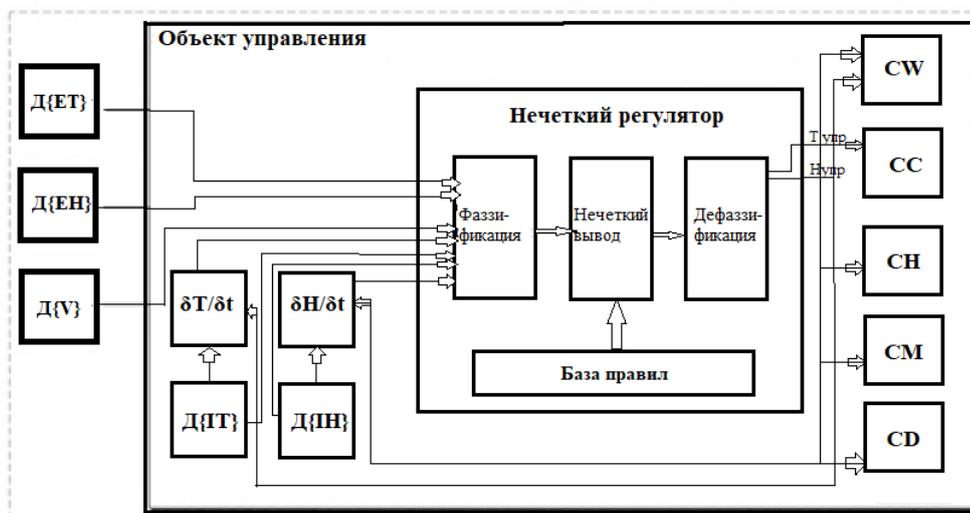


Схема системы управления технологическими параметрами помещения с использованием регулятора на базе нечеткой логики

Собранная информация о текущих значениях параметров технологических процессов поступает в нечеткий регулятор, где происходит перевод в термы лингвистических переменных и далее с учетом базы правил и операции дефазификации происходит формирование управляющих сигналов на исполнительные устройства [Калашникова, К. А. Фазификация параметров устройств управления микроклиматом тепличного комплекса / К. А. Калашникова,

Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград, 2022. – № 1 (260). – С. 63-65.].

В результате работы автоматизированной системы устанавливаются такие параметры объекта управления, при которых технологический процесс протекает с максимальной эффективностью, а также происходит отслеживание изменений условий функционирования устройств.

УДК 519.257+551.509

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-57-59

Д. С. Князев, А. Г. Алехин, Е. Г. Шведов

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПЕРИОД

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dimagold.dg53@gmail.com

Рассматривается регрессионная модель долгосрочного прогнозирования погоды. Описывается методика создания модели ДПП на основе машинного обучения. Оценивается ее точность прогнозирования, а также рассматривается способ улучшения модели.

Ключевые слова: модель, линейная регрессия, ДПП, признак, выборка, метеорологические данные, аппроксимация.

D. S. Knyazev, A. G. Alekhin, E. G. Shwedov

REGRESSION MODEL FOR LONG-TERM METEOROLOGICAL FORECASTING

Volgograd State Technical University

The development of a regression model for long-range weather forecasting is considered. A technique for creating a LTWF model based on machine learning is described. Its prediction accuracy is evaluated, and a way to improve the model is also considered.

Keywords: model, linear regression, LTWF, feature, sample, meteorological data, approximation.

Из-за влияния многих факторов на погоду актуальной остается проблема метеорологического прогнозирования на долгосрочный период (ДПП). Существуют несколько методов ДПП: синоптические, статистические, физико-статистические и гидродинамические [1]. Было разработано множество моделей [1]. Сегодня лидером в разработки моделей прогнозирования погоды является European Centre for medium-range weather forecasts (ECMWF) [2]. ECMWF использует самую современную циркуляционную модель со сложнейшим толкованием физических процессов. Так модель ECMWF имеет разреше-

ние 25 на 25 км. Начальные условия модели формирует четырех размерная схема ассимиляции, использующая данные со спутников. Недостатками моделей ECMWF являются: необходимость высокотехнологичного оборудования и большое количество физических фактов, которые необходимы для прогнозирования. В связи с этим нами предложена математическая модель ДПП на основе регрессионного анализа и машинного обучения. Объектом исследования данной статьи являются метеорологические данные города Москва с 01.01.2017 по 01.01.2022 (рис. 1) [3].

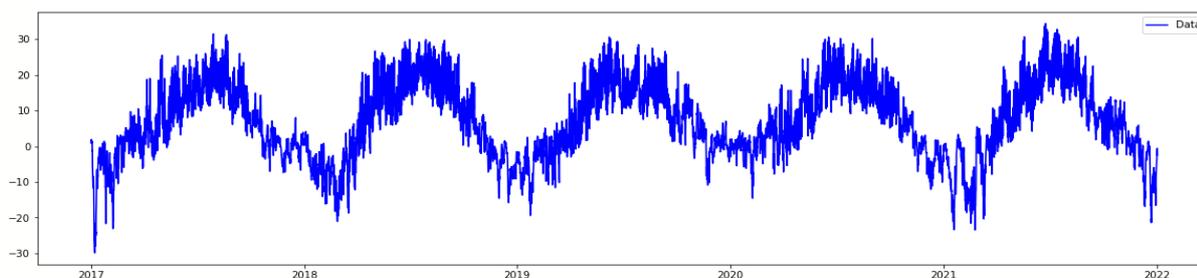


Рис. 1. Метеорологические данные города Москва

Для получения регрессионной модели ДПП г. Москва использовались данные на двух выборках: обучающая и тестовая. На обучающей выборке модель проводит анализ и аппроксимацию. Выборки: `data_train` - обучающая выборка, `data_test` - тестовая выборка приведены на рис. 2.

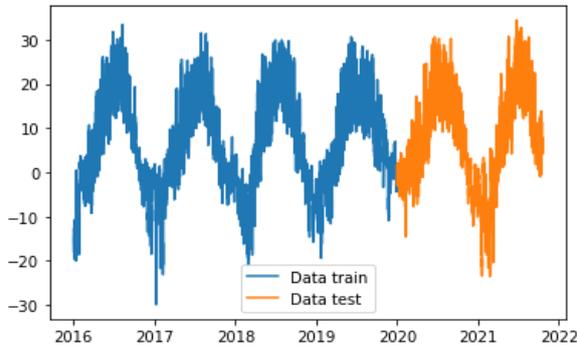


Рис. 2. График ДПП после разбиения выборки

На основе анализа графика ДПП г. Москва примем допущение, что функция аппроксима-

ции описывается законом косинуса. Для того, чтобы обучить модель, нужно еще раз разделить выборку: на признаки (X) и на переменную, которую мы хотим прогнозировать (Y), в нашем случае Y - температура воздуха. То есть задаем 4 переменные: 2 для обучающей выборки (X_{train} , y_{train}) и для тестовой (X_{test} , y_{test}). Также следует сделать тригонометрическое преобразование признаков.

Уравнение линейной регрессии в общем виде выглядит так:

$$z = a \cos(x) + b, \quad (1)$$

где a - коэффициент, b - параметр, x - признак.

Для аппроксимации, используется метод наименьших квадратов, то есть, варьируя a и b , сумма квадратов невязок должна стремиться к минимуму [4]:

$$\sum (y_n - z_n)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Результат обучения модели (1) показан на графике (рис. 3):

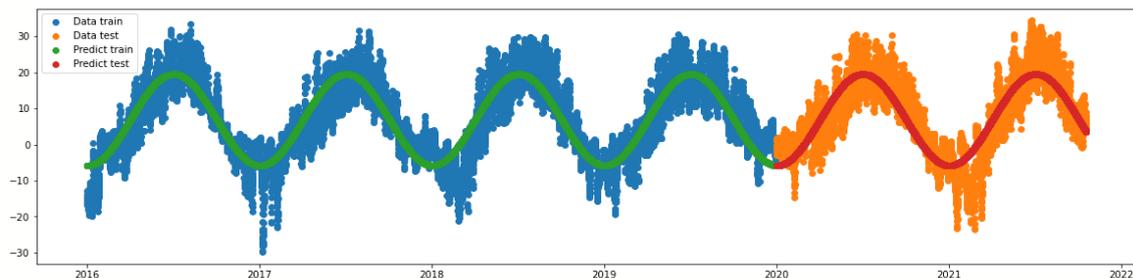


Рис. 3. Результат обучения модели (1)

Результаты моделирования:

Средняя ошибка на обучающей выборке = 4,273;

Средняя ошибка на тестовой выборке = 4,578;

Относительная погрешность на обучающей выборке = 0,418;

Относительная погрешность на обучающей выборке = 0,448.

Чтобы улучшить модель ДПП, добавим еще

один признак - $\sin(x)$. Тогда наша линейная регрессия будет иметь вид (3):

$$z = a_1 \cos(x) + a_2 \sin(x) + b. \quad (3)$$

Упростим уравнение (3), используя тригонометрические преобразования:

$$z = a \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) + b. \quad (4)$$

Тогда, добавляя признак $\sin(x)$, получаем следующий график (рис. 4):

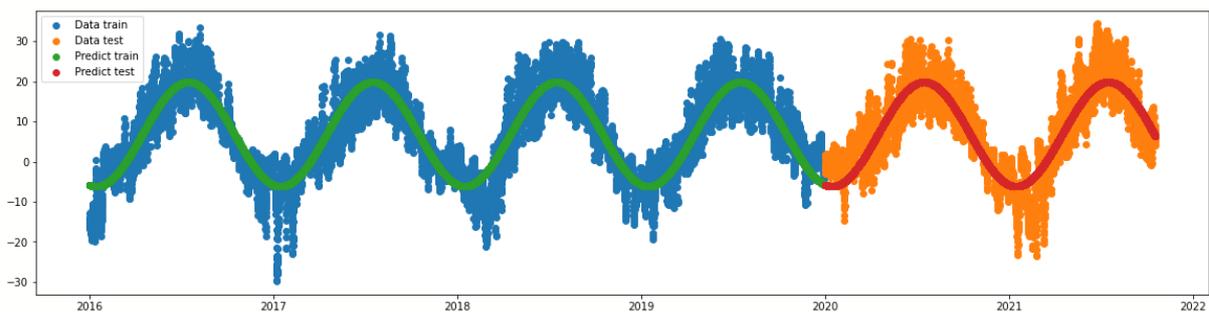


Рис. 4. Результат обучения модели (4)

Результаты моделирования улучшенной модели:

Средняя ошибка на обучающей выборке = 4,018;

Средняя ошибка на тестовой выборке = 4,269;

Относительная погрешность на обучающей выборке = 0,393;

Относительная погрешность на обучающей выборке = 0,417.

Таким образом, добавление еще одного признака улучшило качество прогноза за счет уменьшения средней ошибки и относительной погрешности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угрюмов, А. И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. СПб.: ЗАО «НПП Система». 2006. 84с.
2. Технологии динамико-статистических долгосрочных метеорологических прогнозов: современное состояние и перспективы. URL: <http://seakc.meteoinfo.ru/training> (дата обращения: 13.02.22)
3. Погода в Москве (ВДНХ) – РП5. URL: [https://tr5.ru/Погода_в_Москве_\(ВДНХ\)_](https://tr5.ru/Погода_в_Москве_(ВДНХ)_) (дата обращения: 15.02.22)
4. Коновалов, В. И. Идентификация и диагностика систем: учебное пособие / В. И. Коновалов; Томский политехнический университет. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 163 с.
5. Дегтярев, А. С. Статистические методы обработки метеорологической информации: учебник / А. С. Дегтярев, В. А. Драбенко, В. А. Драбенко. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом». 2014. 225с.

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-59-61

М. Ю. Козенко^{1,2}, Е. А. Дьяченко¹, А. М. Макаров¹

СИНТЕЗ НОВОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

¹Волгоградский государственный технический университет

²ИП М. Ю. Козенко

E-mail: kozenkomichael1999@yandex.ru

Развитие аддитивных технологий (3D печати) приводит к росту потребности в улучшении таких параметров, как стоимость, технологичность, точность и скорость позиционирования. Специфические свойства ортогональных кинематических схем обуславливают необходимость использования иных вариантов компоновки. В работе описан процесс синтеза новой кинематической схемы, предназначенной для использования в устройствах подобного рода с учетом опыта использования иных альтернативных кинематических схем в 3D принтерах.

Ключевые слова: автоматизация, 3D печать, моделирование методом наплавления.

M. Yu. Kozenko^{1,2}, E. A. Dyachenko¹, A. M. Makarov¹

SYNTHESIS OF A NEW KINEMATIC SCHEME FOR ADDITIVE MANUFACTURING DEVICES BY TECHNOLOGY FFF

¹Volgograd State Technical University

²IP Kozenko M.Yu.

The development of additive technologies (3D printing) leads to an increase in the need to improve such parameters as low cost, manufacturability, positioning accuracy and speed. The specific properties of orthogonal kinematic schemes necessitate the use of other options. The paper considers the process of synthesizing a new kinematic scheme intended for use in devices of this kind, taking into account the experience of using other alternative kinematic schemes in 3D printers.

Keywords: automation, 3D printing, Fused Deposition Modeling.

Аддитивные технологии (3D печать) находят все новые области применения, что ведет к росту потребности в улучшении таких характеристик аддитивного оборудования, как стоимость, технологичность, точность и скорость позиционирования.

В данной работе рассматривается способ увеличения скоростных характеристик устройств, работающих по технологии прототипирования методом наплавления. Сущность данной технологии показана на рис. 1.

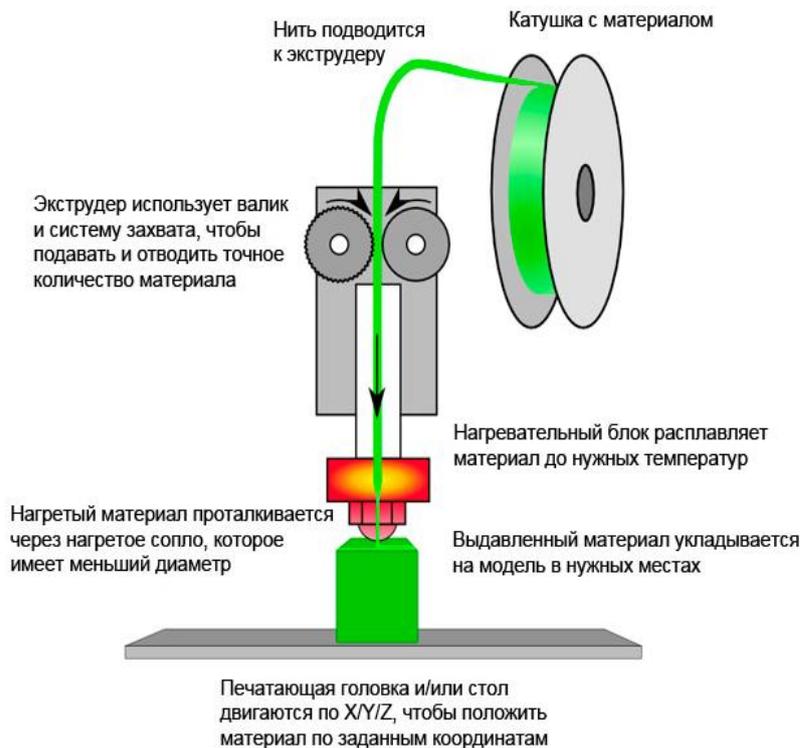


Рис. 1. Сущность технологии моделирования методом наплавления (FFF/FDM)

В общем виде печатающая головка с экструдером и / или стол движутся согласованно по заданной программе в трехмерном пространстве, что позволяет формировать объемное изделие. Подавляющее большинство 3D принтеров, построенных по технологии FFF/FDM печати, использует картезианскую кинематику, в которой перемещение рабочих органов (экструдера и платформы) происходит вдоль осей XYZ. Существенным недостатком такого технического решения является сравнительно низкая скорость печати [1].

Одним из известных путей решения данной проблемы [2] является использование не ортогональных кинематических схем.

Перенос технологии 3D-печати на базу конвейерных роботов-сортировщиков типа DELTA [3] и SCARA [4; 5] активно обсуждается в настоящее время. Используя данные кинематические схемы, можно добиться повышения скоростных характеристик (производительности) аддитивного производства. Но, к сожалению, сложность изготовления, настройки и эксплуатации оборудования, построенного на данных кинематических схемах, не позволила им найти широкого распространения.

Интересным решением стало использование полярной системы координат в принтерах Polar. Оно было осуществлено за счет применения

вращающегося печатного стола. Данная кинематическая схема позволяет повысить производительность печати деталей цилиндрической формы. При этом изготовление деталей других форм осложняется из-за изменения скорости печати при смещении экструдера по радиусу окружности платформы стола.

В качестве кинематической схемы установки аддитивного производства также предлагалось использовать TRIPTERON, поступательно-параллельный механизм с тремя степенями свободы. На основе теории винтов было получено математическое описание устройства. Этот уникальный робот обеспечивает линейное перемещение рабочего органа во всех направлениях. Фактически, данная схема является эквивалентом серийных декартовых роботов. Но поскольку это параллельный робот, он имеет множество других преимуществ, в том числе расположение его приводов на основании снижает инерцию движения и, таким образом, позволяет выполнять движения с более высокой скоростью.

При этом у триптерона очень простая кинематика, фактически такая же, как у серийных декартовых роботов. Кроме того, этот робот является изотропным и полностью развязанным, т.е. каждый из исполнительных механизмов управляет одной декартовой степенью свободы независимо от других.

На основе анализа преимуществ и недостатков существующих систем DELTA, SCARA и TRIPTERON была синтезирована и предложена новая кинематическая схема (рис. 2).

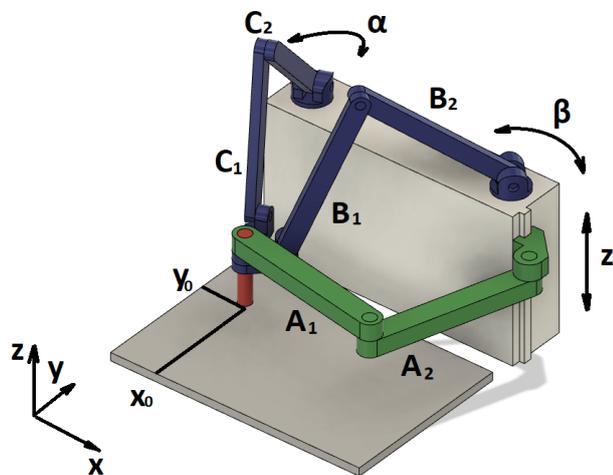


Рис. 2. Предложенная кинематическая схема

Принцип работы заключается в том, что рычаги A_1 и A_2 закрепленные на линейном приводе, задают координату Z . Задание координат XY происходит за счет углового поворота рычагов B_1 B_2 и C_1 C_2 на углы α и β соответственно. Таким образом решение обратной кинематической задачи сводится к достаточно тривиальным выражениям:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{X_0}{Y_m + a - Y_0}\right)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{X_m - X_0}{Y_m + a - Y_0}\right)$$

Использование линейно перемещающихся рычагов для задания координаты Z дает возможность выполнить их конструкционно достаточно широкими в целях повышения жесткости. Скорость перемещения по этой оси для 3D принтеров, работающих по технологии моде-

лирования методом послойного наплавления, не является критичной. Благодаря приводам α и β , жестко закрепленным на станине, масса, которую необходимо перемещать для задания координат X и Y , сводится к массе рабочего органа и рычагов, что открывает перспективы существенного повышения скоростных характеристик оборудования.

Главными преимуществами данной системы является легкость обеспечения геометрической точности за счет единства баз при изготовлении, и потенциально увеличенные скоростные характеристики в сравнении с аналогами за счет закрепления приводов на станине и вращательного перемещения основной части масс.

Результаты работы являются заделом для дальнейших исследований по данной тематике и могут быть востребованы при разработке 3D принтеров с улучшенными скоростными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ существующих кинематик 3D принтеров технологии FFF/FDM / Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, А. В. Ваганов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 57–60.
2. Юрченко, В. В. Анализ кинематических схем движения экструдера 3d-принтера / В. В. Юрченко, М. В. Кубриков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. - 2017. - Т. 1. № 13. - С. 207-208.
3. Pat. EP2427306B1 EPO, IPC B25j17/0266. Delta robot / Justus Laurens HerderVolkert Van Der Wijk ; Current Assignee PENTA ROBOTICS PATENTS B.V. – 1992.
4. Дьяченко, Е. А. 3D-принтер с кинематикой SCARA-робота / Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 24–27 ноября 2020 г.) : сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ. - Волгоград, 2021. - С. 298-300
5. Pat. US20150158186A1 USA, IPC B25j18/04. Scara robot / Yung-Tsai ChuoFu-Ching WangTsung-YING Lin ; Current Assignee Hiwin Technologies Corp. – 2013.

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-62-65

*Д. М. Крылов, П. А. Чемогинов, В. Г. Барабанов***РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ,
СЧИТЫВАНИЯ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ
РУКОПИСНОГО ТЕКСТА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЧЕРКА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

В работе рассмотрены вопросы разработки устройства для воспроизведения рукописного текста, начертания рукописных чертежей на миллиметровых листах, написания рукописных электрических схем.

Ключевые слова: плоттер, воспроизведение почерка, Gcode, XY ЧПУ.

*Д. М. Krylov, P. A. Chemogonov, V. G. Barabanov***DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MODELING, READING
AND REPRODUCING HANDWRITTEN TEXT FOR HANDWRITING IDENTIFICATION****Volgograd State Technical University**

The article discusses the creation of a device for reproducing handwritten text, before etching, drawing handwritten drawings on millimeter sheets, writing handwritten electrical circuits and the like.

Keywords: plotter, handwriting reproduction, Gcode, XY CNC.

В статье рассмотрена разработка системы, которая должна обеспечивать человеко-машинное взаимодействие в целях выполнения операций по воспроизведению текста. За основу устройства был взят перьевой плоттер [1]. Данная система предназначена для автоматического вычерчивания с большой точностью рисунков, схем, сложных чертежей, карт и другой графической информации на бумаге размером до формата А3 или кальке. Изображения наносятся с помощью пера (пишущего блока). Недостатками данного устройства являются его размер, стоимость, сложность управления, ограниченная производительность. Также стоит отметить проблемы, связанные с подбором чернил, выводом изображений с залитыми об-

ластями и сравнительно высокий уровень шума устройства.

Данные проблемы были решены путем разработки менее габаритной версии с использованием G-Code, управляющего контроллера Arduino Uno с платой расширения CNC shield v3. Для обеспечения тихой работы были использованы шаговые двигатели Nema 17HS4401 и серводвигатель SG90 [2]. Путем добавления плагина была модифицирована программа для перевода из растрового изображения (фото или отсканированное изображение). В разработанном устройстве для получения текста или изображения можно использовать обычные пишущие принадлежности. Разработанная система представлена на рис. 1.

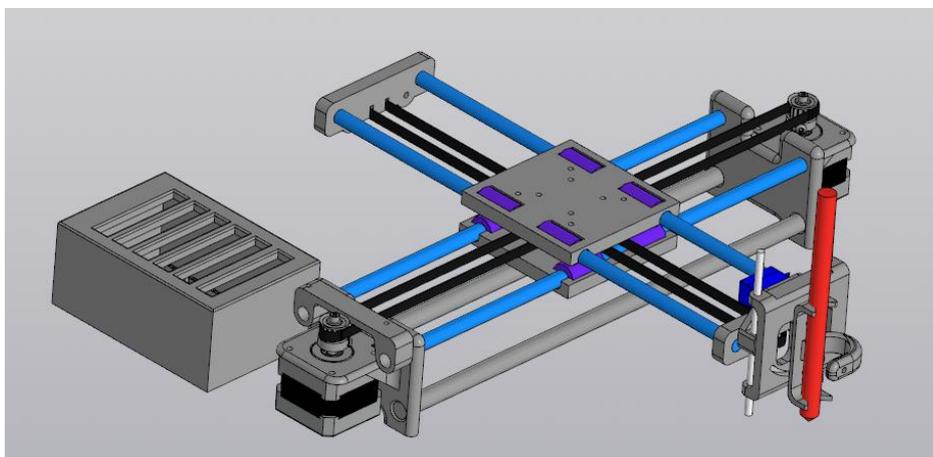


Рис. 1. Системы воспроизведения рукописного почерка

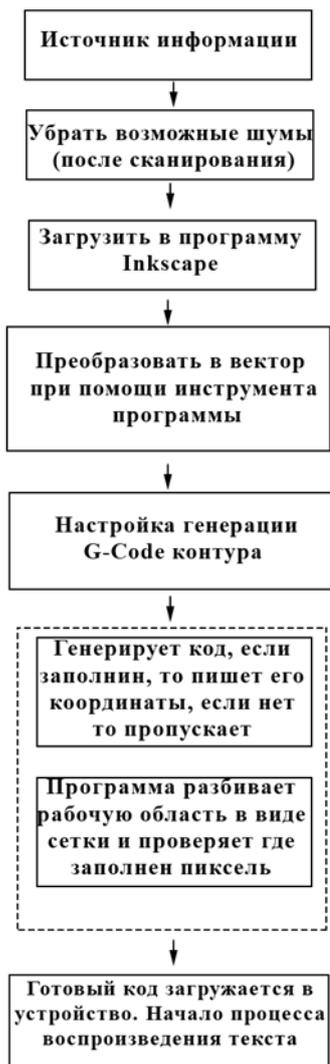


Рис. 2. Алгоритм работы данной системы

Приведем последовательность работы данной системы (рис. 2).

1. Для подготовки исходного изображения необходимо убрать лишние шумы на фотографии или отсканированном изображении, т. е. убрать точки, которые могут появиться при фотографировании или сканировании, подобрать яркость и контрастность, чтобы исходное изображение было хорошо читаемое.

2. Загрузить изображение в модифицированную программу InkScape. Используя встроенные инструменты, преобразовать растровое изображение в векторный контур. Далее при помощи плагина перевести в G-Code [3].

3. Перед началом работы необходимо закрепить лист на столе.

4. Отправить полученный G-Code на Arduino Uno с помощью программы Universal G-Code Sender.

В проекте использовано Arduino Uno и программное обеспечение GRB [4], что позволяет работать с сервоприводом на цифровом выводе 11, используя команды M3 и M5, поднимать и опускать пишущую ручку.

Для проверки готовности устройства подключаемся к плате с помощью Arduino Serial Monitor, выбираем скорость 115200 bps и получаем приветственное сообщение: grbl 0.9i ['\$' for-help].

Для начертания используется программа InkScape (рис. 3) с плагином. Запускаем InkScape, далее Расширения > 4xiDraw > 4xiDraw Control.

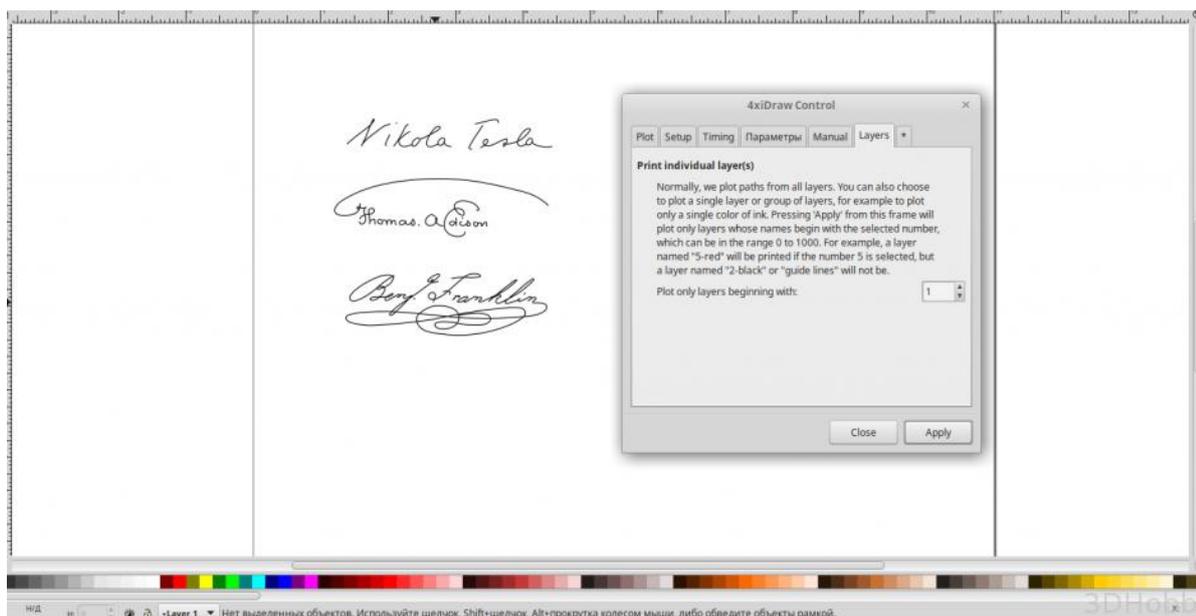


Рис. 3. Программа InkScape

Для настройки правильного масштаба в 4xiDraw нужно перед началом рисования настроить определенные параметры. Для этого используем программу Universal Gcode Sender (рис. 4).

Приведем пример настройки и использования разработанного устройства.

1. Выбираем порт, выставляем скорость, подключаемся. Находим поле ввода команд, набираем \$\$ + ENTER.



Рис. 4. Программа Universal Gcode Sender

2. Настраиваем параметры \$100 и \$101. Эти параметры определяют, сколько шагов требуется плоттеру, чтобы пройти 1 мм.

3. В разработке использован двигатель на 200 шагов, шкив на 20 зубьев и ремень GT2 (шаг 2 мм), соответственно правильные значения для данных параметров будут равны 80.

4. Если будет использоваться шаговый двигатель с другим количеством шагов, то необходимо ввести значение «\$ 100 = 80 + Enter» на терминале, чтобы отрегулировать ось X. Вво-

дим значение «\$ 101 = 80 + Enter», чтобы настроить ось Y.

5. Теперь плоттер будет рисовать изображение с такими же параметрами, как и рисунок в InkScape.

Данные действия можно сделать и при помощи программы Arduino IDE (рис. 5). Выбираем команду Сервис > монитор порта. Для изменения определенного параметра, например, \$100 нужно набрать \$100=80.

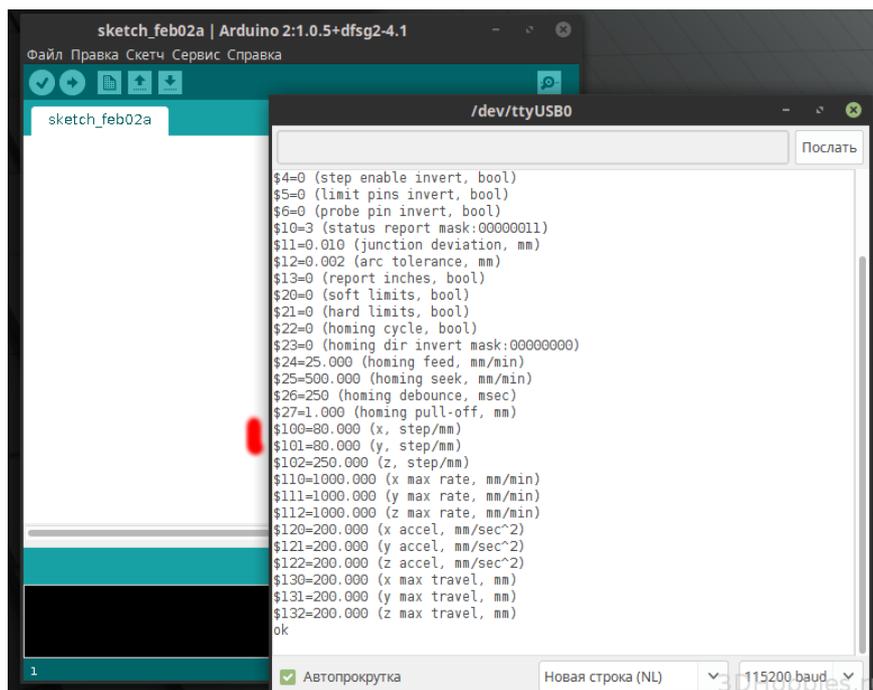


Рис. 5. Настройка рабочей зоны Arduino IDE

Преимуществами предложенной разработки, в которой использован плагин для модифицирования программы InkScare, являются простота в сборке, так как планируется использование уже готового CNC оборудования; достаточно низкая стоимость оборудования; легкость в настройке и управлении устройством, что дает возможность моделировать и воспроизводить почерк, чертежи, схемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wikipedia [Электронный ресурс] // Plotter –2020 – Режим доступа: [https:// en.wikipedia.org/wiki/Plotter](https://en.wikipedia.org/wiki/Plotter) (дата обращения 12.02.2022).
2. DatasheetCafe [Электронный ресурс] // 17HS4401 Datasheet – 40mm, Stepper Motor. –2020 – Режим доступа: [https://www.datasheetcafe.com/ 17hs4401-datasheet-stepper-motor/](https://www.datasheetcafe.com/17hs4401-datasheet-stepper-motor/) (дата обращения 12.02.2022).
3. Thingiverse [Электронный ресурс] // MakerBot Thingiverse –2022 – Режим доступа: [https:// www.thingiverse.com](https://www.thingiverse.com) (дата обращения 12.02.2022).
4. Гольдштейн, А. И. О внутренней структуре пост-процессоров. В кн.: Повышение эффективности использования станков с ЧПУ / А. И. Гольдштейн, В. И. Молочник. - Киев: Знание, 2006.

УДК 67.05

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-65-68

А. С. Панюлайтис, Г. Н. Овчинников, И. В. Волков, Е. В. Стегачев

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Был проведен анализ существующих средств и методов измерения контроля расхода жидкости, а также высокоточного дозирования жидкости. Выполнен патентный анализ устройств по данной тематике, и были выявлены основные недостатки и преимущества данных устройств. По данной классификации была выбрана модель для разработки нового устройства для высокоточного регулирования расхода жидкостных компонентов.

Ключевые слова: расходомер, высокоточное регулирование жидкости, контроля малых расходов жидкости, нефтехимическая промышленность.

A. S. Panyulaitis, G. N. Ovchinnikov, I. V. Volkov, E. V. Stegachev

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATIC DEVICE FOR HIGH-PRECISION REGULATION OF THE FLOW RATE OF LIQUID COMPONENTS

Volgograd State Technical University

An analysis of the existing means and methods for measuring and controlling the flow rate of liquid, as well as high-precision dosing of liquid was carried out. A patent analysis of devices on this topic was carried out and the main shortcomings and advantages of these devices were identified. According to this classification, a model was chosen for the development of a new device for high-precision regulation of the flow of liquid components.

Keywords: flow meter, high-precision liquid regulation, control of low liquid flow rates, petrochemical industry.

В различных отраслях промышленности (химической, нефтехимической, лакокрасочной, клиничко-диагностических лабораториях, в области 3D-печати) требуется точное регулирование расхода и определения вязкости жидких веществ. От точности дозирования компонентов зависит качество продукции, а также точность медицинских и лабораторных исследований. В связи с этим, для эффективного высокоточного контроля малых расходов жидкости в ходе технологических процессов требуются специализированные средства измерения, позволяющие осуществлять контроль над процессом дозирования малых расходов жидкости.

Целью разработки новых методов и средств измерения для автоматического контроля физико-механических свойств веществ является необходимость получения оперативной информации о ходе технологических процессов для точного соблюдения требуемых технологических процессов. В настоящее время существует масса готовых устройств, позволяющих осуществлять дозирование веществ. Обычно такие устройства не совмещают в себе возможности измерения параметров вещества и его дозирования.

Также важна способность устройства осуществлять бесконтактный метод измерения, что позволит снять ограничения на измерение ядовитых

и химически активных веществ. Не маловажным является тот факт, что подобные устройства требуют значительного времени для проведения измерения, таким образом, быстродействие устройства иногда является критическим параметром.

Таким образом, разработка устройства, позволяющего производить измерение малых расходов жидкости является актуальным вопросом, а устройство, позволяющее измерять и контролировать сразу несколько физико-механических параметров, позволит снизить расходы на технологические процессы производства или исследований.

Подобные устройства очень актуальны для химической промышленности, и медицины, где требуется точное дозирование высокоактивных веществ и лекарств малого объема.

Был проведен обзор и анализ существующих в этой области устройств. Помимо различия видов измерений, в первую очередь устройства измерения расхода по наличию контакта с измеряемой средой условно можно разделить на контактные и бесконтактные. Последующую классификацию можно произвести по принципу действия, т.е. методу получения измерительного импульса. Расходомеры можно разделить на следующие основные группы, приведенные в таблице [1].

Классификация типов расходомеров

Тип расходомера	Краткое описание принципа действия
Механические	В качестве измерительного элемента, как правило, выступает крыльчатка, скорость вращения которой пропорциональна величине расхода вещества.
Переменного давления	В качестве измерительного элемента выступает измерительный зонд, вызывающий перепад давлений, пропорциональный расходу вещества.
Калориметрические	В качестве измерительного элемента выступают датчики температуры, которые регистрируют скорость распространения теплоты, пропорциональную расходу вещества.
Ультразвуковые	Используют свойство звуковых волн изменять скорость распространения в подвижной среде пропорционально величине расхода вещества.
Оптические	Основаны на принципе изменение того или иного оптического параметра, в зависимости от расхода вещества.

Целью работы являлась разработка и исследование автоматического устройства для высокоточного регулирования малого расхода жидкости. К данному устройству предъявляются следующие требования:

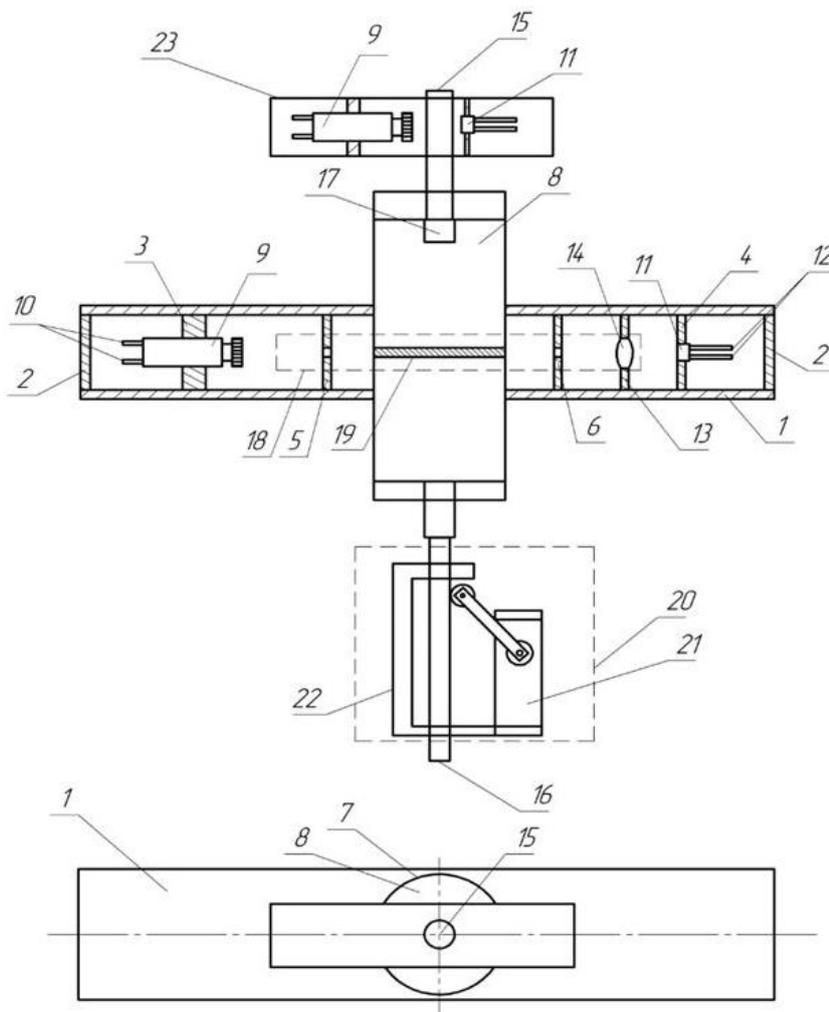
- бесконтактное измерение расхода;
- малое время измерения;
- контроль расхода.

Исходя из проведенного обзора устройств порционного дозирования, регулирования и измерения расхода видно, что не все рассматриваемые устройства соответствуют данным требованиям.

Основным недостатком устройств [2] является невозможность плавной перенастройки системы на необходимый показатель расхода. Недостатком устройства [3] является невозможность регулирования расхода, т.е. отсут-

ствие возможности измерения малых расходов. Что касается устройства [3], то его недостатком можно назвать отсутствие возможности контроля расхода. Из существующих устройств наиболее близким является устройство [4], которое помимо измерения может осуществлять контроль расхода жидкости. К серьезным минусам можно отнести его большую стоимость. Из анализа устройств было выявлено, что максимально соответствует предъявляемым требованиям устройство [3]. На его основе проводилась разработка интересующего нас технического решения.

Для решения задачи измерения и контроля малых расходов жидкости бесконтактным методом, отталкиваясь от уже существующих устройств и патентов, было разработано устройство, представленное на рисунке.



Устройство высокоточного измерения и контроля малых расходов жидкости

В основе устройства лежит принцип, изложенный в патенте на полезную модель [3], уст-

ройство, которое состоит из корпуса 1 с непрозрачными крышками 2, внутри которого уста-

новлены крепежные кольца 3 и 4, оптические фильтры с щелевидными горизонтальными прорезями 5 и 6. В отверстие 7 перпендикулярно оси корпуса 1, помещен светопрозрачный блок 8. В крепежном кольце 3 установлены источники оптического излучения (полупроводниковый лазерный модуль с системой фокусировки) 9 с ножками 10, а в крепежном кольце 4 фотодатчики (фототранзистор) 11 с ножками 12. В оправе 13 установлены собирающие линзы 14. Светопрозрачный блок 8 имеет входной 15 и выходной 16 патрубки для жидкости и каплеобразователь 17.

Линзы 14 и фильтры с щелевидной горизонтальной прорезью 5 и 6 образуют оптическую систему 18, преобразующую световой поток от полупроводникового лазера 9 и формирующие измерительную плоскость 19 внутри светопрозрачного блока 8. На выходном патрубке 16 стоит устройство для контроля потока жидкости 20 состоящее из сервомеханизма 21, кронштейна 22 и мягкого патрубка 16.

Диаметр светопрозрачного блока 8 должен составлять не менее трех диаметров капли измеряемой жидкости и быть больше длины щелевидных горизонтальных прорезей оптических фильтров 5 и 6. Длина щелевидной горизонтальной прорези фильтра 6 несколько больше длины щелевидной горизонтальной прорези фильтра 5. Длина щелевидных горизонтальных прорезей фильтров 5 и 6 меньше диаметра собирающих линз 14 [1].

Для повышения точности измерения в данной конструкции применяются лазерные излучатели со специальной линзой, дающей в фокусе линию на выходе лазерного модуля.

Получившееся устройство работает аналогично устройству, описанному в патенте на полезную модель [3], но имеет ряд особенностей. Появилась возможность контроля расхода жидкости и дополнительный датчик, позволяющий

измерить величину поглощения света жидкостью, что позволяет повысить точность измерения малых расходов жидкости.

Для замера расхода жидкости капля “оцифровывается” во время ее свободного падения и пролета через измерительную плоскость. После чего производится обработка данных и вносятся поправочный коэффициент, характеризующий величину поглощения света жидкостью, что позволяет вычислить объем капли. А добавленное в конструкцию устройство для контроля расхода жидкости на основе сервопривода позволяет точно контролировать расход жидкости. Таким образом, разработанное устройство объединяет в себе несколько важных функций, что ведет к удешевлению конструкции в целом.

Данное устройство может использоваться в различных областях промышленности, медицины и исследовательских лабораториях для реализации задач контроля и измерения малых расходов жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокоточное измерение и регулирование малого расхода жидкости / А.М. Макаров, И.В. Волков, О.С. Харьков, В.М. Гладков, А.К. Иванюк, В.В. Старков // Измерительная техника. - 2018. - № 1. - С. 28-31.
2. Пат. 2490602 Российская Федерация, МПК G01F13/00. Автоматический дозатор жидкостей В. В. Неприимерова / В. В. Неприимеров ; заявитель и патентообладатель В. В. Неприимеров . – № 2011137929/28; заявл. 14.09.11; опубл. 20.08.13, Бюл. №23.
3. П. м. 136564 Российская Федерация, МПК G01F3/00. Датчик малых расходов жидкости / В. П. Заярный, И. В. Волков, А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2013135341; заявл. 26.07.13; опубл. 10.01.14, Бюл №1 (IV ч.).
4. Характеристики и описание расходомера Krohne optimass3010 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.krohne.com/ru/-_pribory/izmerenie-raskhoda/raskhodomery/koriolisovye-massovye_raskhodomery-/optimass-3010/ (дата обращ. 07.06.2018).

УДК 001.51:621-023

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-69-73

*С. Г. Поступаева, Н. В. Федорова***РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА
ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА.
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ФУНКЦИЙ УСТРОЙСТВА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: posvetlana@mail.ru

Рассматривается второй этап проектирования автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка инженерно-физическим методом. На основе полученной модели физического принципа действия устройства наглядно показывается взаимосвязь каждого элемента графа с его элементарной конструктивной функцией. Данный этап позволяет связать разработанную модель устройства с его последующей конструктивной реализацией.

Ключевые слова: поисковое конструирование, инженерно-физический метод, элементарная функция, конструктивные элементы, зона резания.

*S. G. Postupaeva, N. V. Fedorova***DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED DEVICE COOLING
OF THE CUTTING AREA OF THE MILLING MACHINE.
IDENTIFICATION OF THE ELEMENTARY FUNCTIONS OF THE DEVICE****Volgograd State Technical University**

The second stage of designing an automated device for cooling the cutting zone of a milling machine using the engineering-physical method is considered. On the basis of the obtained model of the physical principle of operation of the device, the relationship of each element of the graph with its elementary constructive function is clearly shown. This stage makes it possible to link the developed model of the device with its subsequent constructive implementation.

Keywords: search design, engineering-physical method, elementary function, structural elements, cutting zone.

Конструирование автоматизированного устройства подачи смазочно-охлаждающего технологического средства в зону резания фрезерного станка ведется инженерно-физическим методом [1]. В статье [2] наглядно показана методика построения модели физического принципа действия (ФПД) разрабатываемого устройства данным методом. В результате проектирования получена модель ФПД устройства в виде ориентированного графа, в котором вершинами являются физические объекты, а дугами выступает преобразование входных и выходных потоков вещества, энергии между этими объектами. Причем из разработанной модели также видно передвижение рабочего тела в пространстве и его физическое взаимодействие во времени.

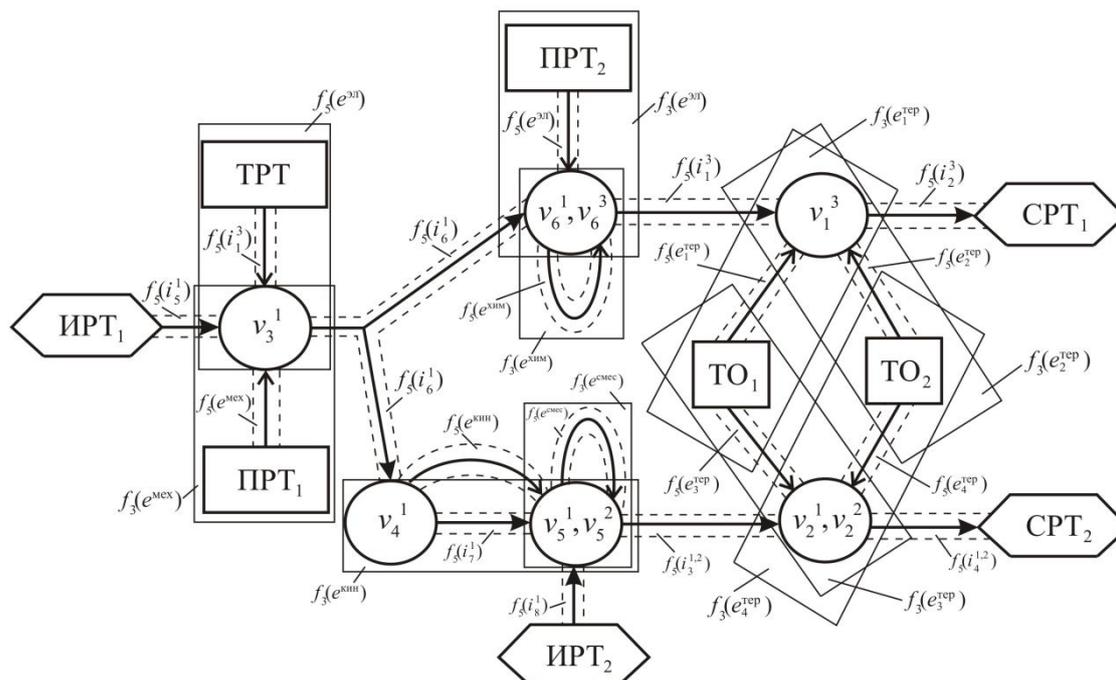
В данной статье рассмотрим второй этап проектирования автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка инженерно-физическим методом. Каждый элемент графа спроектированной модели ФПД разрабатываемого устройства связан

с элементарной конструктивной функцией (рисунком).

Часть конструктивных функций связана с характерными точками графа ФПД. Эти функции реализуют взаимодействия, обеспечивающие внешние степени свободы системы. Любая термодинамическая система, участвующая во взаимодействиях с окружающей средой, обладает внешними степенями свободы через контрольную поверхность. Опишем несколько подобных функций, выявленных в ходе анализа элементов графа модели ФПД проектируемого устройства подачи СОТС (рисунок):

1) характерная точка v_1^3 (ионизированный воздух в зоне резания), взаимодействуя с объектом окружения $ТО_1$ (деталь), обеспечивает функцию возможности отвода теплоты от детали $f_3(e_1^{теп})$;

2) характерная точка v_3^1 (воздух в рабочей камере компрессора), взаимодействуя с объектом окружения ПРТ₁ (механический привод компрессора), обеспечивает функцию возможности сжатия воздуха $f_3(e^{мех})$.



Элементарные конструктивные функции на графе ФПД

Полный список функций, обеспечивающих внешние степени свободы устройства, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Функции, обеспечивающие внешние степени свободы

m_1^1	m_1^2	m_1^3
$v_3, \text{ПРТ}_1$	$f_3(e^{\text{mex}})$	Обеспечение возможности сжатия воздуха
$v_3, \text{ТРТ}$	$f_3(e^{\text{гид}})$	Обеспечение возможности перемещения сжатого воздуха
$v_6, \text{ПРТ}_2$	$f_3(e^{\text{зп}})$	Обеспечение возможности формирования коронного разряда
v_6	$f_3(e^{\text{хим}})$	Обеспечение возможности ионизации воздуха
$v_1, \text{ТО}_1$	$f_3(e_1^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
$v_1, \text{ТО}_2$	$f_3(e_2^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от инструмента
v_4, v_5	$f_3(e^{\text{кин}})$	Обеспечение возможности передачи кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости
v_5	$f_3(e^{\text{мес}})$	Обеспечение возможности перемешивания воздуха с жидкостью (образования распыленной жидкости)
$v_2, \text{ТО}_1$	$f_3(e_3^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
$v_2, \text{ТО}_2$	$f_3(e_4^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от инструмента

Примечание.

m_1^1 – обозначение элемента графа ФПД; m_1^2 – обозначение элементарной функции; m_1^3 – вербальное описание элементарной функции для данного элемента графа.

Другая часть элементарных функций обеспечивает внутренние степени свободы системы. Внутренние степени свободы термодинамической системы реализуют дуги графа ФПД. Эти дуги могут быть двух типов: 1) потоки рабочего тела – обозначают перенос рабочего тела между

характерными точками, в которых осуществляется ряд физических процессов; 2) потоки экстенсоров – обозначают взаимодействия рабочего тела в характерных точках. Внутренние степени свободы дуг графа ФПД сопряжены с формой движения проводимого экстенсора.

Определим элементарные функции для каждой дуги графа модели ФПД проектируемого устройства (см. рисунок):

1) дуга $e^{эл}$ (электрический разряд) обеспечивает функцию возможности подвода электрического заряда к электродам $f_5(e^{эл})$;

2) дуга $i_3^{1,2}$ (поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность фрезы и детали) обеспечивает функцию возможности подвода распыленной жидкости на поверхность детали и инструмента $f_5(i_3^{1,2})$.

Полный список функций, обеспечивающих внутренние степени свободы устройства, представлен в табл. 2.

Согласно модели ФПД проектируемого уст-

ройства (см. рисунок), граф содержит гипердугу i_6^1 , которая разделяет потоки воздуха на выходе из рабочей камеры компрессора (характерная точка v_3^1) на два направления: в сопло эжектора (v_4^1) и ионизатор (v_6^1, v_6^3). Данная гипердуга обеспечивает функцию конструктивного элемента для объединения и разделения потоков $f_8(i_6^1)$.

Дуги графа ФПД обеспечивают множество функций элементов управления системы. Проанализировав элементы графа ФПД проектируемого устройства, выявляем функцию изменения профиля канала проводящей среды $f_{11}(i_3^{1,2})$, которая обеспечивает изменение величины потока за счет поперечного сечения проводящей среды (сопло подачи СОТС).

Таблица 2

Функции, обеспечивающие внутренние степени свободы

m_1^1	m_1^2	m_1^3
$e^{мех}$	$f_5(e^{мех})$	Возможность подвода механического экстенсора к воздуху
$e^{гид}$	$f_5(e^{гид})$	Возможность подвода гидродинамического экстенсора к воздуху
$e^{эл}$	$f_5(e^{эл})$	Возможность подвода электрического заряда к электродам
$e^{хим}$	$f_5(e^{хим})$	Возможность подвода химического экстенсора к воздуху
$e_1^{тер}$	$f_5(e_1^{тер})$	Возможность отвода термического экстенсора от детали
$e_2^{тер}$	$f_5(e_2^{тер})$	Возможность отвода термического экстенсора от инструмента
$e^{кин}$	$f_5(e^{кин})$	Возможность подвода кинетического экстенсора к подсосываемой жидкости
$e^{смес}$	$f_5(e^{смес})$	Возможность подвода смешительного экстенсора к воздуху и жидкости
$e_3^{тер}$	$f_5(e_3^{тер})$	Возможность отвода термического экстенсора от детали
$e_4^{тер}$	$f_5(e_4^{тер})$	Возможность отвода термического экстенсора от инструмента
i_1^3	$f_5(i_1^3)$	Возможность подвода ионизированного воздуха в зону резания направленным потоком
i_2^3	$f_5(i_2^3)$	Возможность отвода ионизированного воздуха в атмосферу
$i_3^{1,2}$	$f_5(i_3^{1,2})$	Возможность подвода распыленной жидкости на поверхность детали и инструмента
$i_4^{1,2}$	$f_5(i_4^{1,2})$	Возможность отвода распыленной жидкости в атмосферу
i_5^1	$f_5(i_5^1)$	Возможность подвода воздуха в рабочую камеру компрессора
i_6^1	$1f_5(i_6^1)$	Возможность подвода воздуха в сопло эжектора
i_6^1	$2f_5(i_6^1)$	Возможность подвода воздуха в ионизатор
i_7^1	$f_5(i_7^1)$	Возможность подвода воздуха в смешительную камеру эжектора
i_8^2	$f_5(i_8^2)$	Возможность подвода жидкости в смешительную камеру эжектора

Примечание.

m_1^1 – обозначение элемента графа ФПД; m_1^2 – обозначение элементарной функции; m_1^3 – вербальное описание элементарной функции для данного элемента графа.

Некоторые элементы графа ФПД связаны с функциями внешней изоляции рабочего тела и проводника экстенсора от нежелательных взаимодействий. Эти функции обеспечиваются сходными конструктивными элементами, но разделены, потому что относятся к различным элементам графа ФПД: первая относится

к вершинам (характерным точкам), вторая – к дугам.

Выделим, в качестве примера, функцию для изоляции рабочего тела от нежелательных взаимодействий (см. рисунок): в характерной точке v_3^1 (воздух в рабочей камере компрессора) может возникнуть утечка воздуха в ком-

прессоре, поэтому необходимо обеспечить функцию защиты рабочей камеры компрессора от утечки воздуха $f_4(e_{01}^{\text{гид}})$.

Полный список функций, обеспечивающих изоляцию рабочего тела от нежелательных взаимодействий, представлен в табл. 3.

Таблица 3

Функции для изоляции рабочего тела

m_2^1	m_2^2	m_2^3	m_2^4
v_3	$e_{01}^{\text{гид}}$ – утечка воздуха в компрессоре	$f_4(e_{01}^{\text{гид}})$	Защита рабочей камеры компрессора от утечки воздуха
v_6	$e_{01}^{\text{эл}}$ – образование искрового разряда в ионизаторе	$f_4(e_{01}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения искрового разряда
v_6	$e_{02}^{\text{эл}}$ – образование дугового разряда в ионизаторе	$f_4(e_{02}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения дугового разряда
v_6	$e_{03}^{\text{эл}}$ – подача напряжения на станочное приспособление в ионизаторе	$f_4(e_{03}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от станочного приспособления
v_6	$e_{02}^{\text{гид}}$ – утечка ионизированного воздуха в ионизаторе	$f_4(e_{02}^{\text{гид}})$	Защита ионизатора от утечки ионизированного воздуха
v_4	$e_{03}^{\text{гид}}$ – утечка воздуха в сопле эжектора	$f_4(e_{03}^{\text{гид}})$	Защита сопла эжектора от утечки воздуха
v_5	$e_{04}^{\text{гид}}$ – утечка распыленной жидкости в смесительной камере эжектора	$f_4(e_{04}^{\text{гид}})$	Защита смесительной камеры эжектора от утечки распыленной жидкости

Примечание.

m_2^1 – обозначение элемента графа ФПД, с которым связано нежелательное взаимодействие; m_2^2 – обозначение и вербальное описание нежелательного взаимодействия; m_2^3 – обозначение элементарной функции; m_2^4 – вербальное описание элементарной функции.

Опишем функцию внешней изоляции проводника экстенсора от нежелательных взаимодействий (см. рисунок): дуга i_1^3 (поток ионизированного воздуха в зону резания через радиальные каналы в теле фрезы) может привести к утечке ионизированного воздуха в проводя-

щем канале, поэтому необходимо обеспечить функцию защиты проводящего канала от утечки ионизированного воздуха $f_6(e_{05}^{\text{гид}})$.

Все функции внешней изоляции проводника экстенсора от нежелательных взаимодействий согласно графу ФПД отображены в табл. 4.

Таблица 4

Функции для изоляции экстенсора

m_2^1	m_2^2	m_2^3	m_2^4
i_1^3	$e_{05}^{\text{гид}}$ – утечка ионизированного воздуха в проводящем канале	$f_6(e_{05}^{\text{гид}})$	Защита проводящего канала от утечки ионизированного воздуха
$i_3^{1,2}$	$e_{06}^{\text{гид}}$ – утечка распыленной жидкости в трубопроводе	$f_6(e_{06}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки распыленной жидкости
i_6^1	$e_{07}^{\text{гид}}$ – утечка воздуха в трубопроводе	$f_6(e_{07}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха
i_7^1	$e_{08}^{\text{гид}}$ – утечка воздуха в трубопроводе	$f_6(e_{08}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха

Примечание.

m_2^1 – обозначение элемента графа ФПД, с которым связано нежелательное взаимодействие; m_2^2 – обозначение и вербальное описание нежелательного взаимодействия; m_2^3 – обозначение элементарной функции; m_2^4 – вербальное описание элементарной функции.

После выявления всех элементарных функций, согласно разработанной модели ФПД, определяется состав конструктивных элементов устройства на основе предварительного группирования найденных функций (табл. 5).

Далее подбираем источники информации, в которых описаны конструкции подобранных элементов. В качестве источников информа-

ции могут выступать научно-техническая литература, патентный фонд, специализированные базы данных и другие источники информации.

В нашем случае подборка источников информации осуществлялась в патентном фонде. Были выделены классы международной патентной классификации (МПК), в которых со-

держатся описания альтернативных конструктивных элементов автоматизированного устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка (табл. 5).

Рассмотренный этап конструирования технических решений позволяет связать разработанную ранее модель ФПД устройства с его по-

следующей конструктивной реализацией на основе выделения элементарных конструктивных функций. Такой подход позволяет существенно расширить область поиска вариантов конструктивного исполнения проектируемого изделия и учесть факторы несовместимости конструктивных элементов друг с другом.

Таблица 5

Источники информации

m_3^1	m_3^2	m_3^3	m_3^4
01	Ионизатор	$f_3(e^{3л}); f_5(e^{3л}); f_4(e_{03}^{3л}); f_4(e_{02}^{гид})$	H01T 19/00; H01T23/00; C01B 13/11; F24F 3/16; A61N 1/44; B23Q 11/10
02	Устройство для подачи ионизированного СОТС в зону резания фрезы	$f_3(e_1^{теп}); f_3(e_2^{теп}); f_3(e_3^{теп}); f_3(e_4^{теп}); f_5(i_1^3); f_5(i_3^{1,2}); f_6(e_{05}^{гид})$	B23Q11/10
03	Распылитель жидкости	$f_3(e^{кин}); f_3(e^{смес})$	B05B 17/04; B05B 3/02

Примечание.

m_3^1 – идентификатор типа конструктивного элемента; m_3^2 – наименование конструктивного элемента; m_3^3 – перечень элементарных функций, выполняемых элементом; m_3^4 – классы МПК.

В следующей работе будет рассмотрен завершающий этап конструирования автоматизированного устройства подачи СОТС в зону резания фрезерного станка с наглядным представлением его конструктивного исполнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразовате-

лей энергии : монография / А. А. Яковлев; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.

2. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-73-77

А. И. Репников, М. П. Кухтик, А. А. Яковлев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧНОЙ КАРУСЕЛЬЮ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработана и изготовлена автоматизированная система управления цепочной каруселью на базе SLC-контроллера преобразователя частоты. Спроектирован шкаф управления цепочной каруселью, и написана программа управления для программируемого логического контроллера.

Ключевые слова: цепочная карусель, SLC-контроллер, программа управления, шкаф управления, преобразователь частоты.

А. I. Repnikov, M. P. Kukhtik, A. A. Yakovlev

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF A CHAIN CAROUSEL

Volgograd State Technical University

An automated control system of a chain carousel based on SLC-controller of frequency converter has been developed and manufactured. A control cabinet of the chain carousel has been designed and a control program for a programmable logic controller has been written.

Keywords: chain carousel, SLC controller, control program, control cabinet, frequency converter.

К современным автоматизированным системам управления предъявляются требования высокой надежности, что особенно важно в тех случаях, когда система активно используется для работы с людьми. Для того чтобы обеспечить необходимой надежностью автоматизированную систему управления детской цепочной каруселью [1], был спроектирован и собран шкаф управления, который показан на рис. 1.

Работа шкафа управления цепочной каруселью возможна как в ручном режиме с помощью

пульта управления 6, так и в автоматическом режиме с использованием SLC-контроллера, встроенного в преобразователь частоты 4. Переключение между автоматическим и ручным режимами осуществляется с помощью двухпозиционного переключателя, расположенного на переносном пульте управления 6. Там же находятся и кнопки, которые управляют исполнительными механизмами системы в ручном режиме – световой индикацией, двумя электродвигателями и соленоидными клапанами.

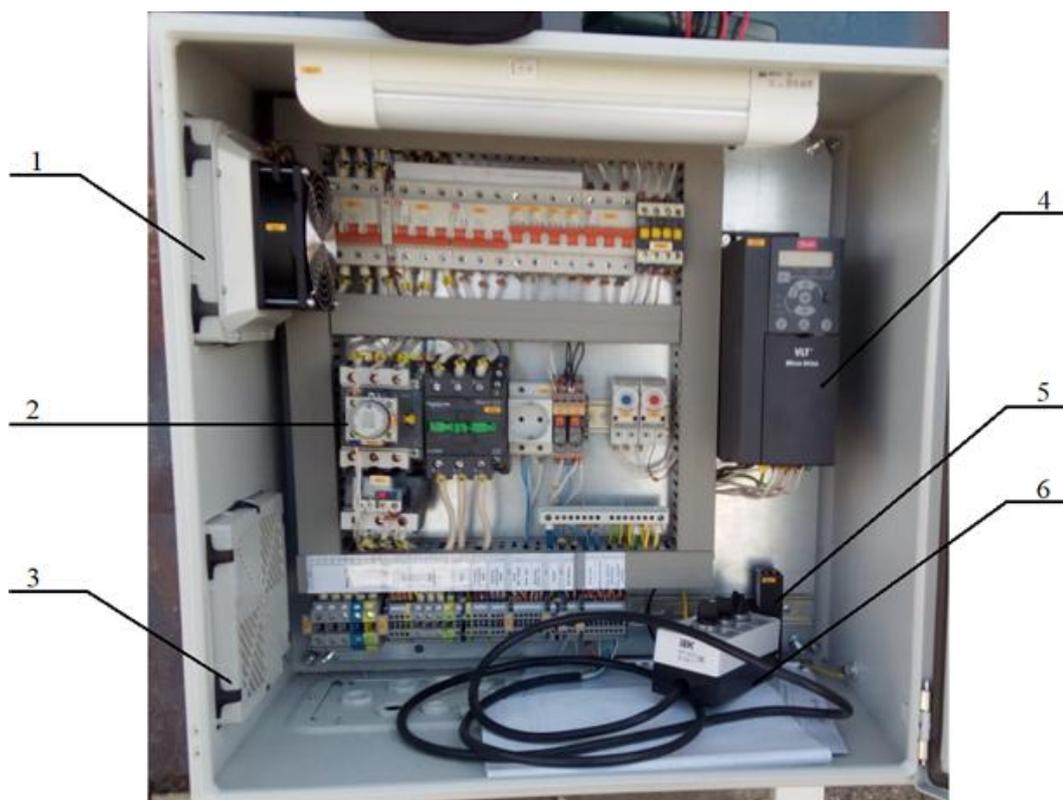


Рис. 1. Шкаф управления:

1 – вентилятор; 2 – программируемое реле времени; 3 – вытяжная решетка;
4 – преобразователь частоты; 5 – нагреватель; 6 – пульт управления

Шкаф управления также включает в себя устройства для поддержания климатических условий: вентилятор 1, вытяжную решетку 3 и обогреватель 5. Вентилятор 1 и вытяжная решетка 3 необходимы для отвода лишнего тепла, которое непременно будет выделяться при работе преобразователя частоты. Данная мера необходима для работы шкафа в условиях высоких температур окружающей среды. Обогреватель 5 необходим для обеспечения возможности работы шкафа управления в условиях низких температур. Устройства поддержания климатических условий необходимы, поскольку каждый элемент шкафа

управления имеет свои температурные пределы, при которых возможна его корректная работа [2].

Программируемое реле времени 2 необходимо для задания временной уставки – задержки отключения соленоидных клапанов.

Цепочная карусель представляет собой вертикальную металлическую стойку, на которой закреплена подвижная крестовина и соленоидные клапаны, позволяющие изменять высоту подъема стойки. На крестовине закреплены сиденья, подвешенные на цепях. Сама крестовина приводится в движение посредством асинхронного электродвигателя, закрепленного на ней

и управляемого с помощью преобразователя частоты Danfoss VLT Micro Drive [3].

Скорость вращения крестовины задается оператором, эксплуатирующим цепочную карусель. Останов электродвигателя происходит по рампе, время которой задается при пусконаладочных работах (от 10 до 15 секунд).

Программа, осуществляющая управление цепочной каруселью, написана на языке программирования SFC (последовательность функциональных диаграмм) стандарта МЭК 61131-3 для программируемого логического SLC-контроллера преобразователя частоты. Фрагмент

программы управления представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 2, программа на языке SFC выполняется пошагово сверху вниз. Каждый участок представлен в виде шага. Завершение текущего шага программы ведет к переходу на следующий. Условие перехода на следующий шаг может быть осуществлено либо при выполнении логического правила 1, либо при достижении таймером 2 введенной временной установки. Логическое правило 1 представляет собой условие, при выполнении которого программа управления перейдет на следующий шаг. Пример условия представлен на рис. 3.

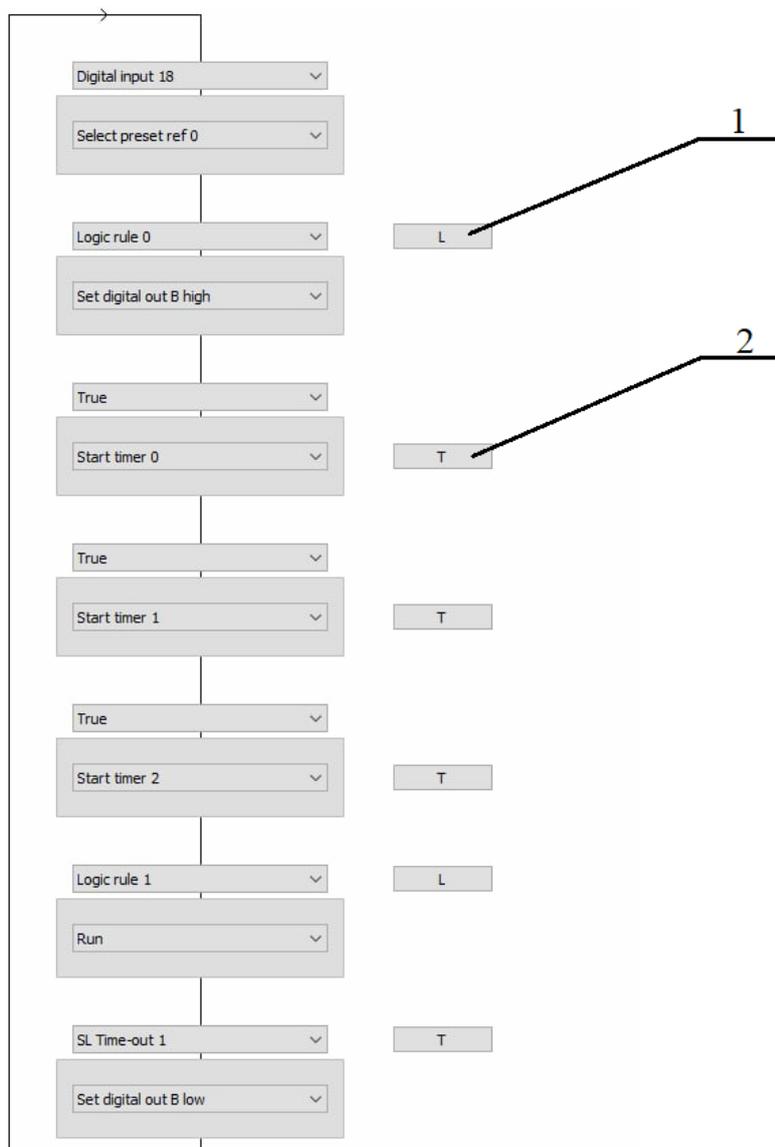


Рис. 2. Программа управления на языке SFC:
1 – логическое правило; 2 – временной таймер

Временной таймер 2 представляет собой функциональный блок, на вход которого подает-

ся переменная, активация которой является выполнением условия для перехода программы

управления на следующий шаг при сохранении ее состояния в течение определенного времени,

введенного в качестве временной уставки. Пример временной уставки представлен на рис. 4.

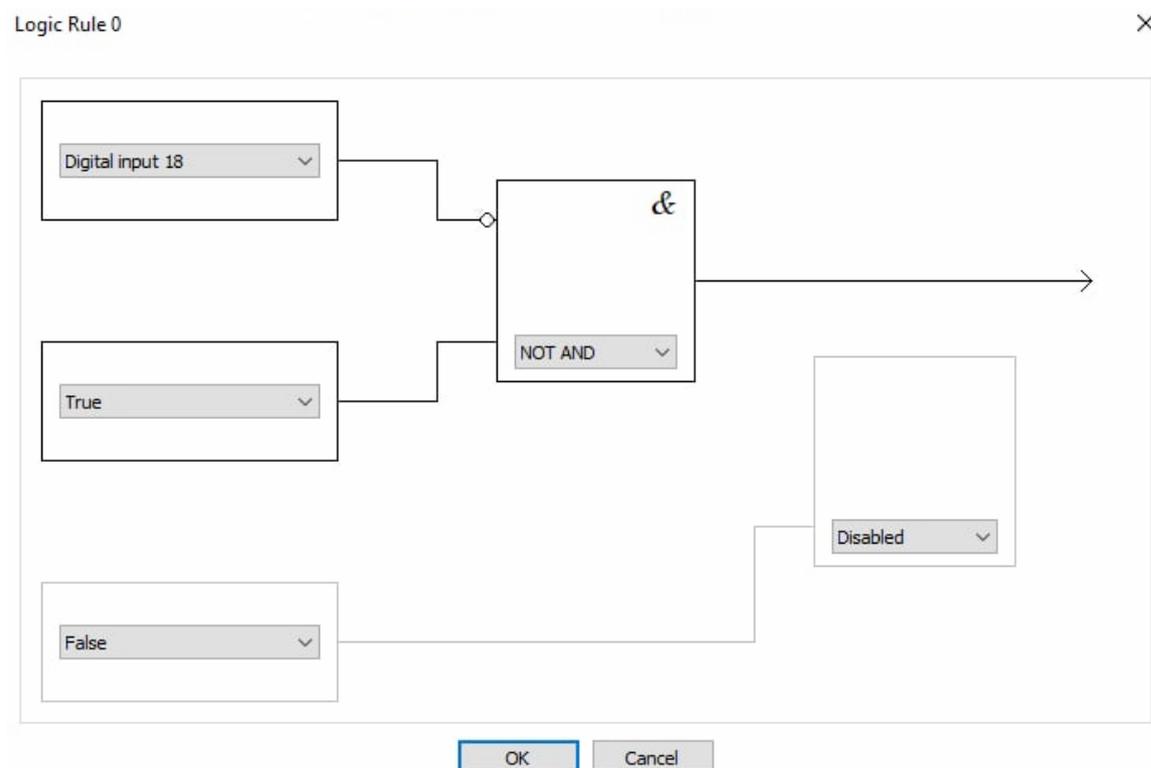


Рис. 3. Логическое правило

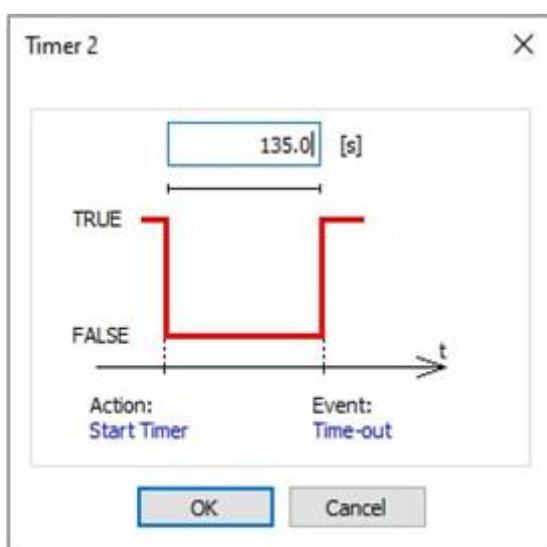


Рис. 4. Временная уставка

Алгоритм работы шкафа управления цепочной каруселью следующий: после того, как выбран автоматический режим и нажата кнопка запуска цепочной карусели, срабатывает сигнализирующий звонок о старте системы, соленоидные клапаны начинают подъем крестовины на рабочую высоту и одновременно с этим реле

времени начинает отсчет заданной временной уставки [4]. При достижении данной уставки реле времени посылает сигнал пуска на преобразователь частоты, начинается работа программы управления и вращение крестовины. Вращение стоек происходит с частотой 30 Гц. В случае возникновения аварийной ситуации оператор нажимает кнопку аварийного останова системы, которая расположена на двери шкафа управления, после чего крестовина экстренно останавливается и соленоидные клапаны опускают ее, чтобы пассажиры смогли покинуть карусель.

Разработанная система управления обеспечивает возможность регулирования скорости вращения стоек, повышает надежность работы цепочной карусели и обеспечивает безопасный режим ее эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Репников, А. И. Автоматизированная система управления детской каруселью / А. И. Репников, М. П. Кухтик // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 70–72.

2. Климат-контроль и охлаждение электротехнических шкафов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mege.ru/reviews/pfannenberglklimat-kontrol-i-okhlazhdenie-elektrotekhnicheskikh-shkafov/> (дата обращения: 21.01.2022).

3. Руководство по программированию. Привод VLT Микро [Электронный ресурс]. URL: [https://euroec.by/as-](https://euroec.by/as-sets/files/danfoss/Programmirovaniye_VLT_Micro_Drive.pdf)

[sets/files/danfoss/Programmirovaniye_VLT_Micro_Drive.pdf](https://euroec.by/as-sets/files/danfoss/Programmirovaniye_VLT_Micro_Drive.pdf) (дата обращения: 22.01.2022).

4. Реле времени циклическое РВЦ-Р-15 с плавной регулировкой уставок времени [Электронный ресурс] – URL: <https://www.meandr.ru/tele-vremeni-timer-tsiklicheskoe-rvc-p-15-1> (дата обращения: 30.01.2022).

УДК 621.373.826

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-77-80

Н. В. Федорова, А. А. Яковлев

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ЛАЗЕРА С ДИФфуЗИОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье представлена информационная модель физического принципа действия (ФПД) газоразрядных лазеров с диффузионным охлаждением, которая содержит всю необходимую информацию для определения функций конструктивных элементов в характерных точках технологических лазеров на CO_2 . Разработана структурная схема отпаянного CO_2 -лазера, который относится к газоразрядным лазерам с диффузионным охлаждением. Описаны физические эффекты, реализуемые в данном лазере, согласно которым произведено разбиение модели ФПД на отдельные функциональные модули. Для каждого функционального модуля построены модели ФПД, дано описание элементов модели ФПД и затем сформирована объединенная модель ФПД отпаянного CO_2 -лазера. В результате разработки модели ФПД достигнута возможность создания матрицы технических решений, из которой путем синтеза вариантов технических решений на основе модели ФПД выбирается лучшее техническое решение для создания новой конструкции технологического лазера.

Ключевые слова: технологический лазер на CO_2 , модель физического принципа действия, диффузионное охлаждение, синтез технических решений.

N. V. Fedorova, A. A. Yakovlev

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF OPERATION OF A DIFFUSION-COOLED GAS-DISCHARGE LASER

Volgograd State Technical University

The article presents an information model of the physical principle of operation (FPD) of gas-discharge lasers with diffusion cooling, which contains all the necessary information to determine the functions of structural elements at the characteristic points of technological CO_2 -lasers. A block diagram of a soldered CO_2 -laser has been developed, which refers to gas-discharge lasers with diffusion cooling. The physical effects realized in this laser are described, according to which the FPD model is divided into separate functional modules. For each functional module, FPD models are constructed, the elements of the FPD model are described, and then a combined FPD model of a soldered CO_2 -laser is formed. As a result of the development of the FPD model, the possibility of creating a matrix of technical solutions has been achieved, from which, by synthesizing variants of technical solutions based on the FPD model, the best technical solution for creating a new design of a technological laser is selected.

Keywords: technological CO_2 -laser, model of the physical principle of operation, diffusion cooling, synthesis of technical solutions.

Процесс разработки нового технического решения, в области создания различных конструктивных моделей технологических лазеров на CO_2 , является достаточно сложной и трудоемкой задачей для инженеров-конструкторов. Инженерно-физический метод автоматизированного синтеза концептуальных технических решений, предложенный д.т.н., профессором А. А. Яковлевым [1], в рамках которого была разработана информационная модель ФПД технологических лазеров на CO_2 , позволяет успешно решить данную задачу, что приведет к сокращению сроков проектирования новых

моделей технологических лазеров на CO_2 и к повышению качества проектных решений за счет сокращения времени на обработку большого количества исходной информации. Проанализировав конструкцию и принцип действия отпаянного CO_2 -лазера, показанную на рис. 1 [2], были определены физические эффекты (ФЭ), реализуемые в данном лазере (ФЭ №143 Ударная ионизация; ФЭ №15 Тлеющий разряд; ФЭ №12 Адсорбция; ФЭ №736 Газоразрядный лазер; ФЭ №476 Зависимость мощности излучения газовой плазмы от силы разрядного тока; ФЭ №Ф265 Термодиффузия) [3].

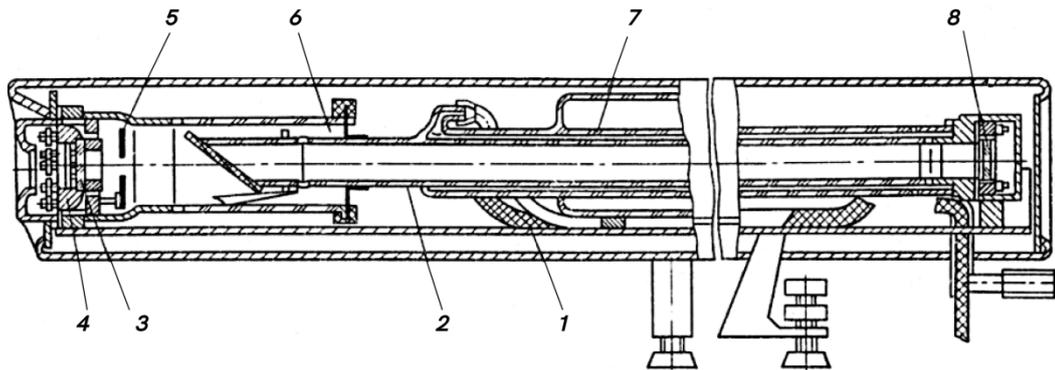


Рис. 1. Конструктивная схема излучателя отпаянного CO_2 -лазера:
1 – основание; 2 – активный элемент; 3 – выходное зеркало резонатора; 4 – узел юстировки резонатора;
5 – диафрагма; 6 – резервный баллон; 7 – рубашка охлаждения; 8 – глухое зеркало резонатора

Согласно найденным ФЭ, было произведено разбиение отпаянного CO_2 -лазера на функциональные модули (ФМ): 1) ФМ₁ – газоразрядная трубка с газообразным рабочим телом (рабочее тело ν^1 (смесь газов в газоразрядной трубке), рабочее тело ν^2 (стенки газоразрядной трубки)); 2) ФМ₂ – регенератор (рабочее тело ν^3); 3) ФМ₃ – система охлаждения (рабочее тело ν^4); 4) ФМ₄ – электроды (рабочее тело ν^5 (анод) и рабочее тело ν^6 (катод)); 5) ФМ₅ – зеркала резонатора (рабочее

тело ν^7 (зеркало с полным отражением) и рабочее тело ν^8 (полупрозрачное зеркало).

На основе пяти ФМ была разработана структурная схема отпаянного CO_2 -лазера, показанная на рис. 2. На структурной схеме прямоугольники, выделенные красным цветом, обозначают функциональные модули, входящие в состав лазера. Для каждого функционального модуля отпаянного CO_2 -лазера была построена модель ФПД.

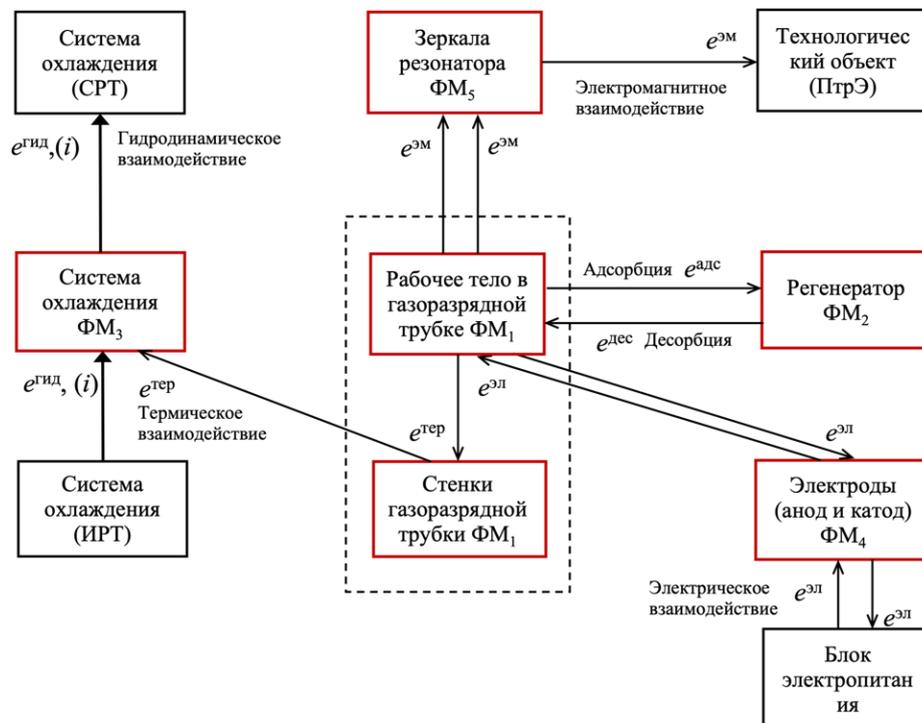


Рис. 2. Структурная схема отпаянного CO_2 -лазера

На рис. 3 показана модель ФПД для ФМ₁ – газоразрядная трубка с газообразным рабочим телом (рабочее тело ν^1 (смесь газов в газораз-

рядной трубке), рабочее тело ν^2 (стенки газоразрядной трубки)).

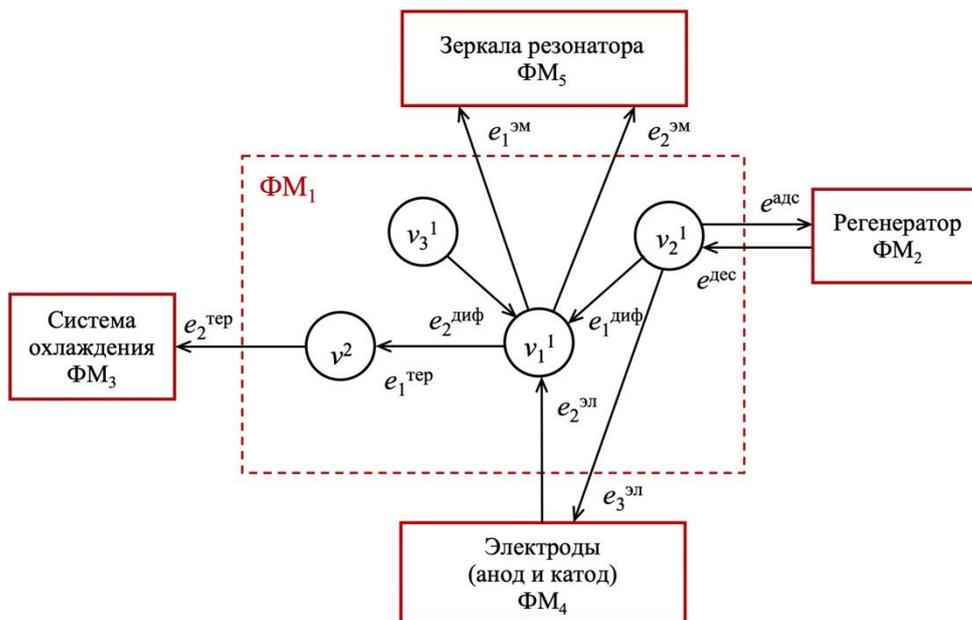


Рис. 3. Модель ФПД отпаянного CO₂-лазера для ФМ₁

Описание всех элементов модели ФПД отпаянного CO₂-лазера для ФМ₁ приведено в таблице.

Описание элементов модели ФПД отпаянного CO₂-лазера

Функциональный модуль	Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
ФМ ₁ Рабочее тело в газоразрядной трубке и стенки газоразрядной трубки	v_1^1	Характерная точка	Смесь газов CO ₂ , N ₂ , He в газоразрядной трубке
	v_2^1	То же	Смесь газов CO ₂ , N ₂ , He в колбе с катодом и регенератором
	v_3^1	--/--	Смесь газов CO ₂ , N ₂ , He в резервном баллоне
	v^2	--/--	Стенки газоразрядной трубки
	i_1^1	Маршрутная дуга	Канал сообщения между газоразрядной трубкой и резервным баллоном
	i_2^1	То же	Канал сообщения между газоразрядной трубкой и колбой с катодом
	$e_1^{эм}$	Взаимодействие	Электромагнитное взаимодействие газоразрядной трубки с глубоким зеркалом резонатора
	$e_2^{эм}$	То же	Электромагнитное взаимодействие газоразрядной трубки с полупрозрачным зеркалом резонатора
	$e_1^{тер}$	--/--	Тепловое взаимодействие рабочего тела со стенками газоразрядной трубки
	$e_2^{тер}$	--/--	Тепловое взаимодействие стенок газоразрядной трубки с охлаждающей жидкостью
	$e_2^{эл}$	--/--	Электрическое взаимодействие источника энергии с рабочей смесью в колбе с анодом
	$e_3^{эл}$	--/--	Электрическое взаимодействие источника энергии с рабочей смесью в колбе с катодом
	$e^{адс}$	--/--	Поглощение кислорода из газовой смеси в колбе с катодом и регенератором (процесс адсорбции)
	$e^{дес}$	--/--	Выделение кислорода из отработанной газовой смеси в колбе с катодом и регенератором (процесс десорбции)
	$e_1^{диф}$	--/--	Диффузионное взаимодействие смеси газов CO ₂ , N ₂ , He между колбой с катодом и регенератором и газоразрядной трубкой
$e_2^{диф}$	--/--	Диффузионное взаимодействие смеси газов CO ₂ , N ₂ , He между резервным баллоном и газоразрядной трубкой	

Объединенная модель ФПД отпаянного CO_2 -лазера показана на рис. 4. На модели ФПД рабочая смесь отображена тремя характерными точками, обозначающими рабочую смесь в газоразрядной трубке (v_1^1), в колбе с катодом и регенератором (v_2^1) и в резервном баллоне (v_3^1). Емкости с рабочей смесью сообщаются

между собой. Характерной точкой (v^2) обозначены стенки газоразрядной трубки; характерной точкой (v^3) – вещество регенератора, (v^4) – охлаждающая жидкость, (v^5) – материал анода, (v^6) – материал катода, (v^7) – зеркало резонатора с полным отражением (глухое), (v^8) – зеркало резонатора полупрозрачное.

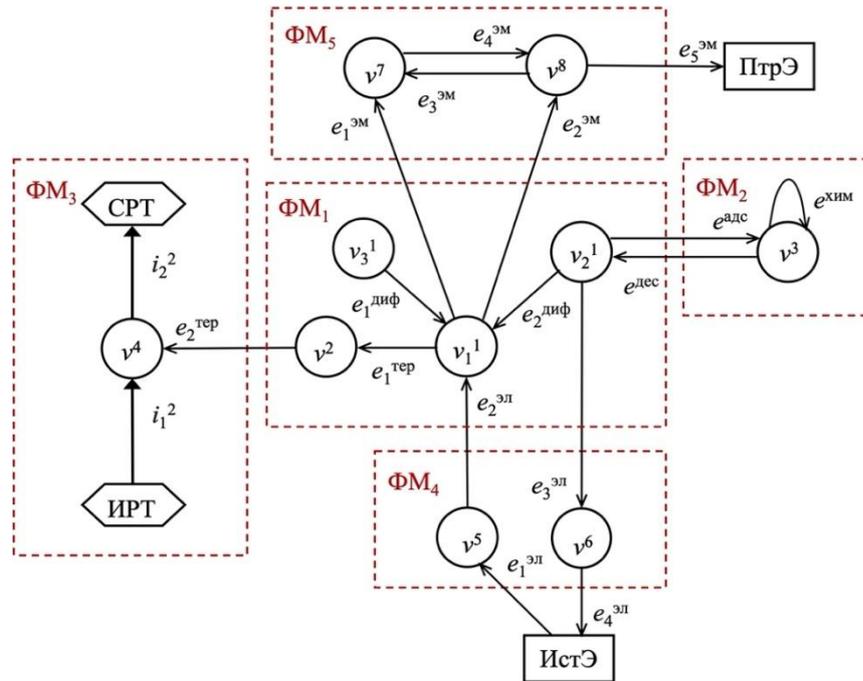


Рис. 4. Модель ФПД отпаянного CO_2 -лазера

Потоки охлаждающей жидкости обозначены маршрутными ребрами (i_1^2 , i_2^2). Источник энергии (ИстЭ), потребитель энергии (ПтрЭ) для рабочей смеси, а также исток (ИРТ) и сток (СРТ) рабочего тела для охлаждающей жидкости являются объектами окружения. Все обозначения элементов, вершин и дуг модели ФПД отпаянного CO_2 -лазера и семантическое описание (смысловое значение характерных точек и взаимодействий в них, а также объектов окружения) приводятся в таблицах элементов всех ФМ. Конструктивная реализация данной модели будет выражаться в виде определенного набора функциональных элементов, с помощью которых будет сформирована матрица технических решений для проектирования новых технологических лазеров. А для этого, на основе инженерно-физического метода синтеза концептуальных решений [4], будет разработан алгоритм синтеза технических решений для данного класса устройств, результат которого и будут оформлен в виде матрицы технических решений. В результате

применения алгоритма повысится эффективность обработки информации и выбора самого оптимального конструктивного решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Exploratory Design of Technical Systems with Fluid and Gas Working Body Based on Heuristic Modeling of Physical Operating Principles / А.А. Яковлев, С.Г. Поступаева, Н.В. Федорова // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) (Sochi, Russia, 18-22 May 2020). Vol. II / ed. by A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2021. – P.529-537.
2. Абильситов, Г. А. Технологические лазеры: Справочник: В 2 т. Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация / Г. А. Абильситов, В. С. Голубев, В. Г. Гонтарь и др.; Под общ. ред. Г. А. Абильситова. – М.: Машиностроение, 1991. – 432 с.
3. Фоменков, С. А. Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев: монография – М.: Машиностроение-1, 2004. – 278 с.
4. Яковлев, А. А. Поисковое конструирование технологических лазеров на углекислом газе на основе новой информационной модели физического принципа действия / А. А. Яковлев, Н. В. Федорова, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 80–83.

УДК 004.422.833

DOI: 10.35211/1990-5297-2022-3-262-81-84

*С. С. Шемелюнас, А. В. Дроботов, А. В. Ваганов, М. В. Сулицкий***АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА В FDM 3D ПРИНТЕРЕ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: sergey.shemelyunas@bk.ru

В статье рассматривается алгоритм работы устройства контроля подачи материала в FDM 3D принтере. Описан процесс создания программного модуля для обеспечения функционирования этих систем в программно-аппаратном комплексе 3D принтера. Описаны базовые принципы обработки массивов данных, получаемых с оптического сенсора.

Ключевые слова: 3D принтер, аддитивные технологии, контроль подачи материала, оптический сенсор.

*S. S. Shemelyunas, A. V. Drobotov, A. V. Vaganov, M. V. Sulitskiy***THE ALGORITHM OF OPERATION OF THE DEVICE FOR AUTOMATIC CONTROL OF MATERIAL SUPPLY IN THE FDM 3D PRINTER****Volgograd State Technical University**

The article discusses the principle and algorithm of operation of the material supply control device in an FDM 3D printer. The process of creating a software module to ensure the functioning of these systems in the hardware and software complex of a 3D printer is described. The basic principles of processing arrays of data received from an optical sensor are described.

Keywords: 3D printer, additive technologies, material feed control, optical sensor.

Аддитивные технологии в последнее время очень быстро развиваются и уже позволяют производить широкую номенклатуру изделий. Однако ввиду новизны и не совершенства технологии, в процессе печати часто требуется участие человека [1].

В процессе печати необходимо контролировать наличие прутка пластика и процесс его корректного продвижения к печатающей голове.

Существенно увеличить время автономной работы FDM 3D принтера позволит разработанное устройство автоматического контроля подачи материала в FDM 3D принтере [2,3].

Устройство автоматического контроля подачи материала (рис. 1) состоит из корпуса 2, внутри которого расположена печатная плата 4, на ней закреплен оптический сенсор 5. Пруток пластика 1 проходит сквозь область сканирования сенсора, которая подсвечивается светодиодом 7. В устройстве предусмотрена оптическая система, состоящая из линзы 3 и держателя линзы 6. Устройство закрепляется на корпус 3D принтера и не мешает основной работе.

В основе системы лежит оптический сенсор интерфейса PS/2 ADNS-2610. Основная задача, которая перед нами стоит – это считывание данных с сенсора и преобразование полученных данных в сигналы, которые будут передаваться плате управления 3D принтером [4].

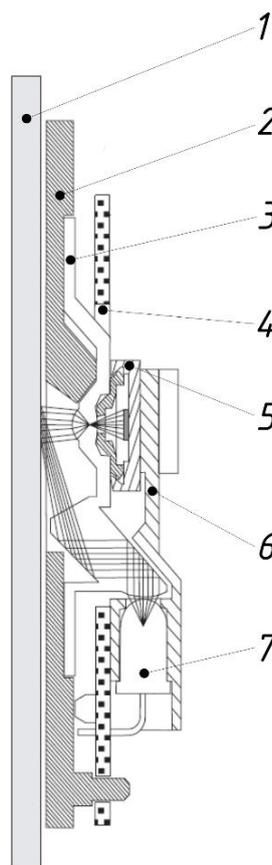


Рис. 1. Устройство контроля подачи материала

Синхронный последовательный порт используется для установки и считывания параметров в ADNS-2610, а также для считывания информации о движении. Порт представляет собой двухпроводной полудуплексный порт. Хост-микроконтроллер всегда иницирует связь, а оптический сенсор ADNS-2610

никогда не иницирует передачу данных.

SCK представляет собой часы последовательного порта. Он всегда генерируется мастером (микроконтроллером). SDIO это строка данных.

На рис. 2 представлена операция записи данных с сенсора.

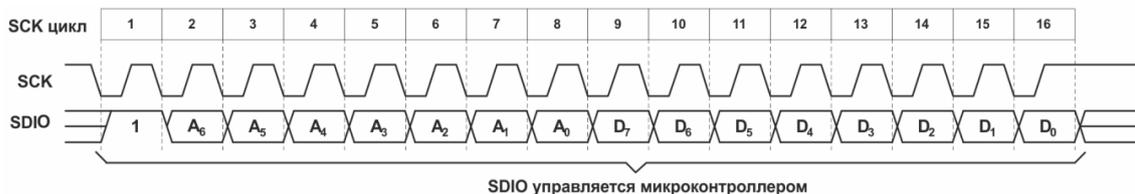


Рис. 2. Операция записи данных

Операции записи, когда данные передаются с микроконтроллера на ADNS-2610, всегда иницируются микроконтроллером и состоят из двух байтов. Первый байт содержит адрес (семь битов) и имеет «1» в качестве своего старшего бита для указания направления данных. Второй байт содержит данные. Передача синхронизируется по SCK. Микроконтроллер меняет SDIO на падающие края

SCK. ADNS-2610 считывает SDIO по передним краям SCK.

На рис. 4 представлено изображение настройки SDIO и длительность импульсов удержания SCK.

Для получения изображения используется конечный автомат (машина состояний рис. 3). В таблице подробно описан каждый шаг автоматной модели состояний.

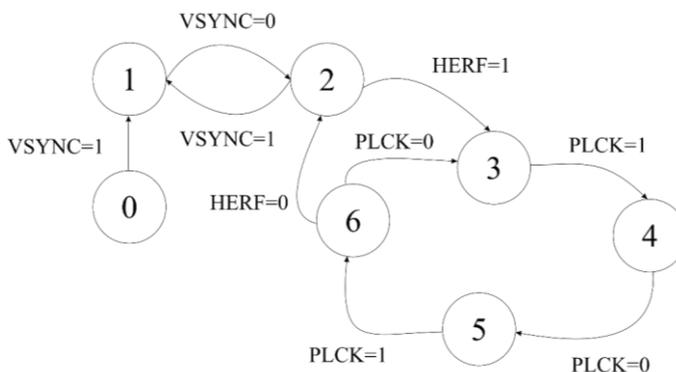


Рис. 3. Автоматная модель состояний сенсора

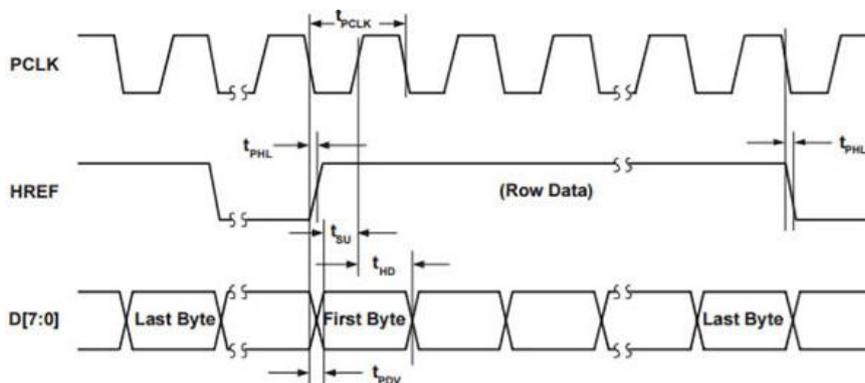


Рис. 4. Операция чтения и записи данных сенсора

лись в численные значения диаметра прутка пластика, его скорость и булевый параметр наличия пластика в системе [6]. Эти параметры (рис. 5) записываются в переменные показанные на рис. 4.

Дальнейшая работа будет заключаться в тестировании работы программного модуля, доработка интерфейса программы и будет добавлена возможность работы с разными типами датчиков контроля подачи материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроботов, А. В. Применение FDM технологии объёмной печати для мелкосерийного производства изделий / А. В. Дроботов, И. В. Мартынович, И. С. Торубаров // XIV межрегиональная научно – практическая конференция «Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии» (г. Волжский, 18 октября 2018 г.) : сб. докл. конф. / под ред. С. И. Благиной ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.] – Волгоград ; Волжский, 2018. – С. 151–155.
2. Автоматизация сервисных функций в FDM 3Dпринтере / С. С. Шемелюнас, А. В. Дроботов, Д. В. Самойлов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (250) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 78–82.
3. Шемелюнас, С. С. Анализ и совершенствование системы контроля подачи материала в FDM 3D принтерах / С. С. Шемелюнас, А. В. Омаров, А. В. Дроботов // Известия ВолгГТУ : № 8 (243) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 78–81.
4. Датчик окончания филамента на Октопринте [Электронный ресурс] // 3D today : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://3dtoday.ru/blogs/an-drewstick/the-sensor-end-of-the-filament-on-oktoprint/#> (дата обрац. 20.12.2020).
5. GitHub - kliment/Printrun [Электронный ресурс] // GitHub : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://github.com/kliment/Printrun> (дата обрац. 20.12.2020).
6. Pronterface, Pronsole, Printcore [Электронный ресурс] // pronterface : офиц. сайт. – 2020. – Режим доступа : <https://www.pronterface.com> (дата обрац. 20.12.2020).

Ответственный за выпуск редактор РИО
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 2022 г. Поз. № 2ж. Дата выхода в свет 31.03.2022 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л.
9,89. Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 101.

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