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

№4(20)
2020

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

*В сборнике печатаются материалы международной конференции
«Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в
машиностроении 2020» (7 – 11 сентября 2020 года)*

Севастополь 2020

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Главный редактор

д.т.н., проф. БРАТАН С.М.

Зам. главного редактора

к.т.н., проф. – ХАРЧЕНКО А.О.

Научный редактор

д.т.н., проф. ПОКИНТЕЛИЦА Н.И.

Отв. секретарь

к.т.н., доц. ЛЕВЧЕНКО Е.А.

Редакционная коллегия

АБДУЛГАЗИС У.А.	д. т. н., проф. (г. Симферополь)
ГЛЕЗЕР А. М.	д. ф-м. н, проф. (г. Москва)
БОХОНСКИЙ А.И.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
БУРНАШОВ М.А.	д. т. н., доц. (г. Орел)
ДУЮН Т.А.	д. т. н., доц. (г. Белгород)
КОЗЛОВ А.М.	д. т. н., проф. (г. Липецк)
КОПП В.Я.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
МАЛЫШЕВА Г.В.	д. т. н., проф. (г. Москва)
МИХАЙЛОВ А.Н.	д. т. н., проф., (г. Донецк, Украина)
НОСЕНКО В.А.	д. т. н., проф. (г. Волжский)
ОБЖЕРИН Ю.Е.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
НОВОСЕЛОВ Ю.К.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
ПАШКОВ Е.В.,	д. т. н., проф. (г. Севастополь)
СУСЛОВ А.Г.	д. т. н., проф. (г. Москва)
ФЕДОНИН О.Н.	д. т. н., проф. (г. Брянск)
ЯКУБОВ Ф.Я.	д. т. н., проф. (г. Симферополь)
ЯРОШЕНКО А.А.	д. т. н., проф. (г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

Братан С.М., Рошупкин С.И., Стадник Т.В. Исследование механизма взаимодействия СОТС с материалом заготовки при шлифовании деталей из титана в присутствии неорганических солей.....	4
Котельников М. А., Щенятский А. В., Башарова А. А. Анализ влияния термоупругого внутреннего трения на характеристики резонатора ТВГ	9
Харченко А.О., Харченко А.А., Владецкая Е.А. Исследование показателей надежности при формообразовании мелкогабаритных резьб метчиков ...	14
Башарова А.А., Котельников М.А., Щенятский А.В. Технологические подходы к обработке деталей из кварцевого стекла	19
Романов А.В., Щенятский А.В. Управление расходом масла при гидропрессовой сборке соединений с натягом.....	24
Долгин В.П., Сопин П.К. Оптимизация автоперевозок.	29
Левченко Е.А, Саса Д.А Исследование тепловых явлений при абразивной обработке.	36

Учредитель и издатель: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация; ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», бульвар 50 лет Октября, д.7, Брянск, 241035, Российская Федерация

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

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

CONTENTS

Chief Editor

D.Sc., Prof. – BRATAN S.M.

Associate Editor in Chief

Ph.D., Prof. – KHARCHENKO A.O.

Scientific Editor

D.Sc., Prof. – POKINTELITSA N.I.

Executive Secretary

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

Editorial team

ABDULGAZIS U.A.	D.Sc., Prof. (Simferopol)
GLEZER A.M.	D.Sc., Prof. (Moscow)
BOHONSKIY A.I.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
BURNASHOV M.A.	D.Sc., Associate Prof. (Orel)
DUYUN T.A.	D.Sc., Associate Prof. (Belgorod)
KOZLOV A.M.	D.Sc., Prof. (Lipetsk)
KOPP V.YA.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
MALYSHEVA G.V.	D.Sc., Prof. (Moscow)
MIKHAILOV A.N.	D.Sc., Prof. (Donetsk)
NOSENKO V.A.	D.Sc., Prof. (Volzhsky)
OBEZHERIN YU.E.	D.Sc.Prof. (Sevastopol)
NOVOSELOV YU.K.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
PASHKOV E.V.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)
SUSLOV A.G.	D.Sc., Prof. (Moscow)
FEDONIN O.N.	D.Sc., Prof. (Bryansk)
YAKUBOV F.YA.	D.Sc., Prof. (Simferopol)
YAROSHENKO A.A.	D.Sc., Prof. (Sevastopol)

S.M. Bratan, S.I. Roshchupkin, T.V. Stadnik Investigation of the mechanism of interaction of cutting fluids with the material of the workpiece when grinding titanium parts in the presence of inorganic salt.....	4
M. A. Kotelnikov, A. V. Shchenyatskiy, A. A. Basharova Analysis of the influence of thermoelastic internal friction on the characteristics of the TVG resonator.....	9
A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko, E.A. Vladetskaya Research of reliability indicators for forming small-sized threads with taps.....	14
A.A. Basharova, M.A. Kotelnikov, A.V. Shchenyatsky Technological approaches to the treatment of parts made of quartz glass.....	19
A.V. Romanov, A.V. Shchenyatsky Oil flow control during hydropress assembling of interference fits.....	24
V.P. Dolgin, P.K. Sopin Optimization of transportations.....	29
E.A. Levchenko, D.A. Sasa Research of thermal phenomena in diamond-abrasive working.....	36

Founder and publisher: FSAEO HE «Sevastopol State University, St. Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation; FSBEU HE «Bryansk State Technical University», Boulevard 50 let Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation

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

УДК 621.454

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТС С МАТЕРИАЛОМ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНА В ПРИСУТСТВИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

С.М. Братан¹, С.И. Рошчупкин¹, Т.В. Стадник¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация

Аннотация

В статье приводятся результаты термических исследований СОТС на основе фтористого натрия используемой для шлифования титана и титановых сплавов, выявлены механизмы взаимодействия СОТС с оксидами титана и карбида кремния при температурном воздействии. На основании полученных результатов исследований рассмотрены особенности взаимодействия СОТС на основе фтористого натрия с титаном и его сплавами и карбидом кремния, который является рекомендованным абразивным материалом, для обработки вышеуказанных материалов, что следует учитывать при разработке технологических процессов шлифования.

Ключевые слова: карбид кремния, шлифование, СОТС, титановые сплавы, термическая стойкость, термограмма.

INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF INTERACTION OF CUTTING FLUIDS WITH THE MATERIAL OF THE WORKPIECE WHEN GRINDING TITANIUM PARTS IN THE PRESENCE OF INORGANIC SALT

S.M. Bratan¹, S.I. Roshchupkin¹, T.V. Stadnik¹¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of thermal studies of cutting fluids based on sodium fluoride, which are used for grinding titanium and titanium alloys, mechanisms of interaction of cutting fluids with titanium and silicon carbide oxides under temperature influence are revealed. Based on the obtained research results, the features of interaction of cutting fluids based on sodium fluoride with titanium and its alloys and with silicon carbide, which is the recommended abrasive material for processing the above materials, are considered. This should be taken into account when developing grinding processes.

Keywords: silicon carbide, grinding, cutting fluids, titanium alloys, thermal stability, thermogram.

Титан и титановые сплавы используют для производства ответственных деталей, к ним предъявляются высокие требования по точности и качеству поверхностного слоя [1-6].

На металлургических заводах и заводах-потребителях осуществляется обработка поверхности металла, в результате которой теряется значительное количество годного металла. Особенно велики потери на переделах производства титана и титановых сплавов, где только при зачистке потери годного металла составляют 20% и более [7].

В целом можно выделить основные дефекты, влияющие на качество готового проката: заусенцы и закаты, волосовины, неправильная форма катанки и неточные размеры сечения (овал) [8]. Удаление дефектов поверхности является одним из самых трудоемких и низко производительных рабочих процессов в металлургии, на участках и в цехах зачистки занято до 35% численности персонала прокатного цеха. Дефектный слой с катанки удаляют химическим и механическим методами, причем последние имеют ряд технологических, экологических и экономических преимуществ. К основным де-

фектам поверхности заготовки и готового проката, которые устраняют абразивной зачисткой, относят поверхностные трещины, образующиеся при прокатке, газовые раковины и неметаллические включения, находящиеся на поверхности проката [9-13].

Шлифование деталей из титановых сплавов характеризуется интенсивным износом абразивных зерен и налипанием на них шлифуемого материала. Низкая теплопроводность (у титана меньшая в 5 раз по сравнению с конструкционными сталями), высокая химическая активность свежесрезанных поверхностей деталей и стружки при температурах, возникающих в малых объемах, повышенная прочность и способность к упрочнению в тонком деформированном слое усложняет процесс шлифования [14].

Низкая теплопроводность титановых сплавов требует использования высокоэффективных СОТС, способствующих получению качественной поверхности деталей и повышению производительности процесса. Без применения СОТС процесс шлифования из титана и его сплавов вообще невозможен [15].

При абразивной обработке деталей из титановых сплавов СОТС должна обеспечивать отсутствие засаливания ленты, хорошую транспортировку и удаление тонкодисперсной стружки и абразивных частиц из зоны резания. Кроме того, при финишной обработке ответственных деталей СОТС должна полностью смываться с готовых деталей [15].

Известно, что титан и титановые сплавы обладают высокой термодинамической неустойчивостью, что предопределяет их значительную химическую активность.

При деформировании в условиях высоких температур титан и его сплавы в отличие от сталей интенсивно окисляются и насыщаются кислородом. Активное взаимодействие с газами, особенно с кислородом, изменяет механические свойства поверхностного слоя титана: повышается его твердость и прочность, снижаются пластические свойства [4,5]. Анализ существующих исследований показывает, что практически во всех опубликованных работах основное

внимание уделяется диспергирующему, смазочному, охлаждающему и моющему действию СОТС, и не рассматривалась ее термическая стойкость.

При воздействии температурных полей СОТС распадается, появляются компоненты, обладающие чрезвычайно высокой химической активностью, которые взаимодействуют с материалом заготовки. То есть, при нагревании поверхность материала подвергается определенным физическим и химическим воздействиям, сопровождающимся выделением или поглощением тепла. На тепловые явления оказывают действия физико-химические свойства контактирующих ингредиентов: обрабатываемого материала, абразивного материала, воздуха и СОТС.

Для изучения температуры химических и структурных превращений применен метод дифференциального термографического анализа, основанный на изменении величины теплосодержания и массы реагирующей системы под влиянием физико-химических превращений. Исследования осуществлялись с помощью прибора Derivatograf Q-1500D (Венгрия). Прибор Derivatograf Q-1500D, использован для определения при нагревании в широком интервале температур одновременного изменения теплосодержания и массы исследуемого образца по методу термографии. Прибор оснащен программным обеспечением работающим в среде LabVIEW 8.6.1 фирмы National Instruments, Остин, Техас, США. Текущая версия программного обеспечения 2.1073 от 01.05.2010. Для сбора данных прибор оснащен устройствами NI USB-6008 и USB-6009, с программным продуктом связанным с PC-совместимым компьютером через USB-интерфейс. USB-6008 имеет 8 аналоговых входов, сигнал оцифровывается 12-битным АЦП с частотой 10кГц, 2 аналоговых выхода амплитудой от 0В до +5В и 12 двунаправленных линий TTL/CMOS. 8 аналоговых входов можно объединять в 4 дифференциальных входа с программируемым коэффициентом усиления. Максимальная амплитуда входного сигнала программируется от $\pm 1В$ до $\pm 20В$.

Устройство Derivatograf Q-1500D позволяет одновременно фиксировать и отслеживать во времени четыре параметра, характеризующие процесс (рис. 1): DTA — изменение теплосодержания вещества, DTG — скорость изменения массы вещества при нагревании; TG — абсолютная величина изменения массы вещества; Т — изменение температуры печи в процессе опыта.

В проведенных исследованиях оценивали термические эффекты при нагревании сплава BT8M + фтористый натрий (NaF) и сплава BT8M + SiC + NaF. Для оценки реальных процессов, происходящих на поверхности металла, платиновый рабочий тигель был заменен тиглем из титанового сплава BT8M. Исследуемые ингредиенты по заданной программе нагревались в рабочем тигле до 1000°C, скорость возрастания температуры 20°C в минуту. В течение опыта на экране компьютера фиксировалось изменение температуры Т в печи и изменение теплосодержания вещества DTA.

В результате проведенных исследований были получены следующие термограммы (рис. 1-3): 1) титановый сплав BT8M; 2) BT8M + фтористый натрий; 3) BT8M + карбид кремния + фтористый натрий.

На термограмме для титанового сплава (рис. 1) тепловых эффектов не замечено. При нагревании же титанового сплава вместе с фтористым натрием появляются тепловые эффекты (рис. 2).

Анализ полученных кривых показывает, что на термограмме имеется участок, на котором снижается температура, что можно объяснить процессом испарения влаги. При температуре 520°C и 900°C наблюдаются тепловые экзотермические эффекты, появление которых объясняется химическим взаимодействием. При температуре 980°C, близкой к температуре плавления фтористого натрия, отмечается понижение температуры, однако тепловые эффекты при этом невелики.

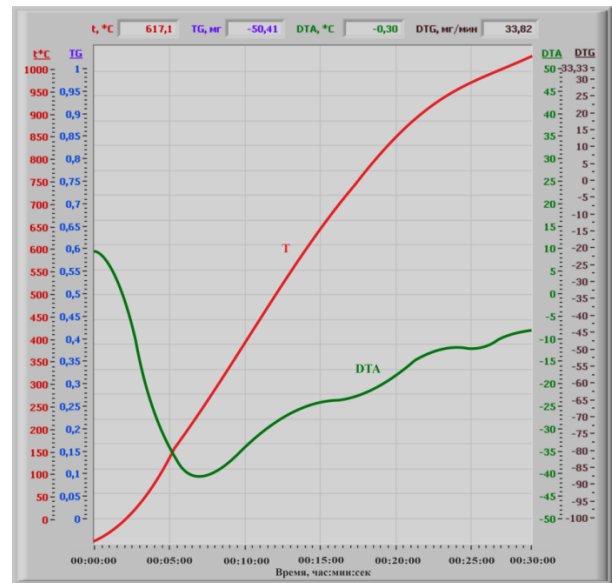


Рис.1. Термограмма для титанового сплава BT8M

Можно сделать предположение о влиянии на процесс окисной пленки, имеющейся на поверхности титанового сплава (происходит взаимодействие фтористого натрия NaF с окислом титана).

Для проверки высказанной гипотезы был повторен опыт с добавлением в СОТС окалины.

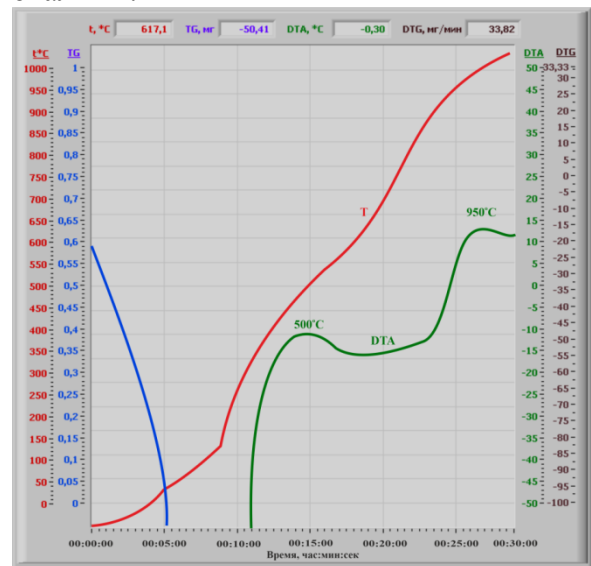
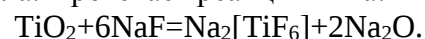


Рис.2. Термограмма для титанового сплава BT8M + фтористый натрий

В результате анализа полученных данных установлено, что появление тепловых эффектов связано с взаимодействием окиси титана и фтористого натрия, интенсивность которого зависит от степени окисления металла. Протекает реакция типа:



Анализ термограмм, полученных в результате опыта с нагреванием сплава VT8M + SiC + NaF следует, что в процессе нагревания до высоких температур в контакте металл–абразивный материал появляется вероятность протекания химических реакций типа $\text{SiC} + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{TiC} + \text{Si} + \text{CO}$; $2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 = \text{Ti}[\text{AlO}_2]_4$; $n\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Ti} \rightarrow 3\text{TiO}_2 + 2n\text{Al}$.

Таким образом, SiC вносит большие изменения в процесс (экзотермический эффект значителен, кривая DTA расположена выше, чем на предыдущих термограммах).

В результате химических взаимодействий в зоне контакта будут создаваться новые структуры и соединения, от свойств которых зависят условия деформирования металла, производительность шлифования и износ круга.

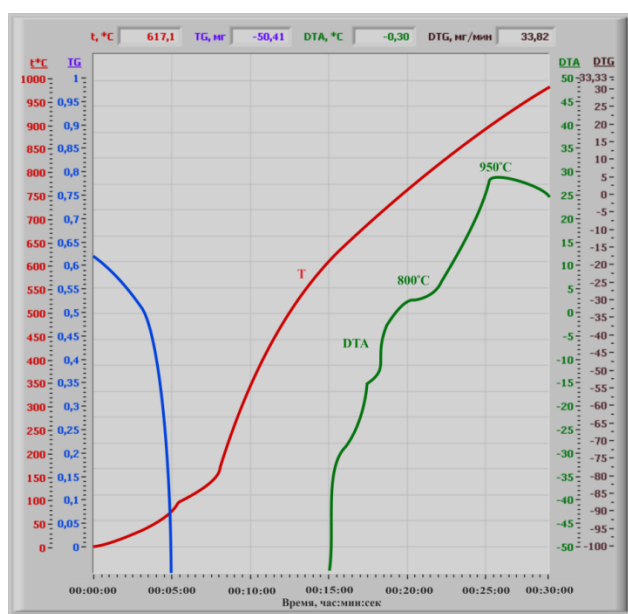


Рис. 3. Термограмма сплава VT8M + SiC + NaF

На основании изложенного можно сделать заключение о том, что эффект при шлифовании деталей из титана в присутствии неорганических солей есть результат адсорбционного понижения прочности поверхностного слоя металла и электрохимических и химических процессов, приводящих к разупрочнению и пластификации окисленного и газонасыщенного поверхностного слоя металла.

Проведенные исследования и разработанные на их основании представления о

механизме действия растворов неорганических солей позволяют обоснованно подходить к вопросу выбора СОТС для шлифования титановых сплавов.

Список литературы

1. Климов В.Н. Современные авиационные конструкционные сплавы: учеб. пособие / В.Н. Климов, Д.М. Козлов. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 40 с.
2. Халов М.О. Перспективы применения сплавов с памятью на основе никелида титана в устройствах аэрокосмического назначения / Электронный журнал «Труды МАИ». – 2010. – № 55. – С. 17.
3. Горынин И. В. Титан в машиностроении / И.В. Горынин, Б.Б. Чечулин. – М: Машиностроение, 1990. – 400 с.
4. Томашов Н.Д. Титан и коррозионностойкие сплавы на его основе. – М.: Металлургия, 1985. – 81 с.
5. Бубнов В.А. Титан и его сплавы в машиностроении / В.А. Бубнов, А.Н. Князев // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 3 (42). – С. 92-96.
6. Егорова Ю.Б. Титановые сплавы для автомобилестроения / Ю.Б. Егорова, Л.В. Давыденко, С.Б. Белова, Е.Н. Егоров // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 1137-1146.
7. Александров В.К. Полуфабрикаты из титановых сплавов / В.К. Александров, Н.Ф. Аношкин, Г.А. Бочвар и др. – М.: Металлургия, 1979. – 512 с.
8. Расщупкин В.П. Дефекты металла: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для механических специальностей вузов / В.П. Расщупкин, М.С. Корытов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 37 с.
9. Соболевская Т. Д. Влияние качества губчатого титана на наличие дефектов в полуфабрикатах и деталях из титановых сплавов / Т. Д. Соболевская, В. И. Гишкина, Т. А. Коваленко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудування. – 2009. – № 2. – С. 50-54.
10. Шияев С.А. Анализ конструктивных и технологических параметров устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования на основе исследований динамики относительного движения абразивной ленты / С.А. Шияев С.А., А.Г. Иванов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – № 6. – С. 12– 20.
11. Bratan S. Improvement of quality of details at round grinding in the conditions of a floating work-shop / S.Bratan, E. Vladetskaya, A. Kharchenko // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01083.
12. Bratan S. Identification of removal parameters at combined grinding of conductive ceramic materials / S. Bratan, S. Roshchupkin, A. Kolesov, B. Bogutsky

// MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01079.

13. Братан С.М. Баланс перемещений в технологической системе при ленточном ротационном шлифовании/ С.М. Братан, Т.В. Стадник, А.Г. Колесов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – Вып. 8., ч. 1. – С. 270-275.
14. Паньков Л.А. Ленточное шлифование высокопрочных материалов. / Л.А. Паньков, Н.В. Костин. - М.: Машиностроение, 1978. – 126 с.
15. Василенко О.А. Эффективность действия СОЖ при шлифовании / О.А. Василенко, А.В. Тюхта, Ю.В. Василенко // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – Вып. 8, ч. 1.– С. 215-220.

References

1. Klimov V.N. Sovremennye aviatsionnye konstruksionnye splavy: ucheb. posobie / V.N. Klimov, D.M. Kozlov. – Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2017. – 40 s.
2. Khalov M.O. Perspektivy primeneniia splavov s pamiat'iu na osnove nikelida titana v ustroistvakh aerokosmicheskogo naznachenii / Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI». -2010. – № 55.– S. 17.
3. Gorynin I. V. Titan v mashinostroenii / I.V. Gorynin, B.B. Chechulin. – М: Mashinostroenie, 1990. – 400 s.
4. Tomashov N.D. Titan i korrozionnostoikie splavy na ego osnove. – М.: Metallurgiya, 1985. — 81 s.
5. Bubnov V.A. Titan i ego splavy v mashino-stroenii / V.A Bubnov, A.N. Kniazev // Vestnik Kurgan-skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 3 (42). – S. 92-96.
6. Egorova Iu.B. Titanovye splavy dlia avtomobilestroeniia / Iu.B. Egorova, L.V. Davydenko, S.B. Belova, E.N. Egorov // Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie. – 2013. – № 3. – S. 1137-1146.
7. Aleksandrov V.K. Polufabrikaty iz titanovykh splavov/ V.K. Aleksandrov, N.F. Anoshkin, G.A. Bocharov i dr. – М.: Metallurgiya, 1979. – 512 s.
8. Rasshchupkin V.P. Defekty metalla: Uchebnoe posobie po distsipline «Materialovedenie i TKM» dlia mekhanicheskikh spetsial'nostei vuzov / V.P. Rasshchupkin, M.S. Korytov. – Omsk: Izd-vo SibADI, 2006. – 37 s.
9. Sobolevskaia T. D. Vliianie kachestva gubchato-go titana na nalichie defektov v polufabrikatakh i detaliakh iz titanovykh splavov / T. D. Sobolevskaia, V. I. Gishkina, T. A. Kovalenko // Novi materiali i tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvannia. - 2009. - № 2. - S. 50-54.
10. Shiliaev S.A. Analiz konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov ustroistva rotatsionnogo lentochного okhvatyvaiushchego shlifovaniia na osnove issledovaniia dinamiki otnositel'nogo dvizheniia abrazivnoi lenty / S.A. Shiliaev S.A., A.G. Ivanov // Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman. – 2011. – № 6. – S. 12– 20.
11. Bratan S. Improvement of quality of details at round grinding in the conditions of a floating work-shop / S.Bratan, E. Vladetskaya, A. Kharchenko // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01083.
12. Bratan S. Identification of removal parameters at combined grinding of conductive ceramic materials / S. Bratan, S. Roshchupkin, A. Kolesov, B. Bogutsky // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01079.
13. Bratan S.M. Balans peremeshchenii v tekhnologicheskoi sisteme pri lentochnom rotatsionnom shlifovanii / S.M. Bratan, T.V. Stadnik, A.G. Kolesov // Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – Tula: Izd-vo TulGU, 2017. – Vyp. 8., ch. 1. – S. 270-275.
14. Pan'kov L.A. Lentochnoe shlifovanie vysokoprochnykh materialov. / L.A. Pan'kov, N.V. Kostin. - М.: Mashinostroenie, 1978. – 126 s.
15. Vasilenko O.A. Effektivnost' deistviia SOZh pri shlifovanii / O.A. Vasilenko, A.V. Tiukhta, Iu.V. Vasilenko // Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki. – Tula: Izd-vo TulGU, 2016. – Vyp. 8, ch. 1.– S. 215-220

УДК 62-26

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОУПРУГОГО ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАТОРА ТВГ

М. А. Котельников¹, А. В. Щенятский¹, А. А. Башарова¹¹ *Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова. г.Ижевск, Российская Федерация*

Аннотация

В работе рассматривали одну из главных характеристик резонаторов твердотельных волновых гироскопов – добротность. Определили, что добротность зависит от свойств материала резонатора, его конструкции, качества обработки поверхности, уровня вакуума в приборе. Работу проводили в 3 этапа. На первом этапе определили конечно-элементную формулировку задачи основанную на приближенном методе решения связанных задач динамической теории упругости и теплопроводности. На втором этапе выбрали подходящие для изготовления резонаторов ТВГ материалы: кварцевое стекло, алюминий и сталь. На третьем этапе провели моделирование резонатора, решив тепловую задачу. Определили, что кварцевое стекло нагревается больше ввиду самой низкой объемной теплопроводности. Сделали вывод, что температура нагрева резонатора во время работы далека от температуры релаксации и, следовательно, не оказывает значительного влияния на точность работы прибора. В конце сформировали список литературы из 13 источников.

Ключевые слова: Твердотельный волновой гироскоп, чувствительный элемент, резонатор, напряженно-деформированное состояние (НДС), метод конечных элементов (МКЭ), внутреннее трение.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THERMOELASTIC INTERNAL FRICTION ON THE CHARACTERISTICS OF THE TVG RESONATOR

М. А. Kotelnikov¹, A. V. Shchenyatskiy¹, A. A. Basharova¹¹*M.T. Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russian Federation*

Abstract

The work considered one of the main characteristics of resonators of solid-state wave gyroscopes - Q-factor. It was determined that the quality factor depends on the properties of the resonator material, its design, the quality of surface treatment, and the vacuum level in the device. The work was carried out in 3 stages. At the first stage, a finite element formulation of the problem was determined based on an approximate method for solving related problems of the dynamic theory of elasticity and heat conduction. At the second stage, materials suitable for the manufacture of EGG resonators were chosen: quartz glass, aluminum, and steel. At the third stage, the cavity was simulated by solving the thermal problem. It was determined that quartz glass heats up more due to the lowest volumetric thermal conductivity. It was concluded that the heating temperature of the resonator during operation is far from the relaxation temperature and, therefore, does not significantly affect the accuracy of the device. At the end, a list of references from 13 sources was formed.

Keywords: Solid-state wave gyro (SWG), sensitive element (SE), resonator, finite element method (FEM), stress-strain behaviour (SSB), internal friction.

Введение

В последнее время широкое распространение получили ТВГ, действие которых основано на эффекте Брайана [1]. Главным элементом таких приборов являются механические резонаторы различных конструкций — полусферические, цилиндрические, стержневые и т.п. [2-6]. Основной характе-

ристкой таких резонаторов является их добротность, которая в значительной мере определяет систематическую и случайную погрешности прибора. Чтобы увеличить добротность в качестве конструкционных обычно выбирают материалы с малым объемным внутренним трением, в статье были рассмотрены следующие материалы: квар-

цевое стекло, алюминий, и сталь. Для достижения наилучших результатов при конструировании резонатора необходимо учитывать особенности всех основных процессов. Напомним, что под внутренним трением в твердом теле понимают совокупность всех необратимых термодинамических процессов, приводящих к рассеянию энергии упругих колебаний резонатора. Величина внутреннего трения пропорциональна отношению энергии, рассеянной за один период колебаний, к общей энергии резонатора. Внутреннее трение в резонаторе определяется суммой термоупругого внутреннего трения; внутреннего трения в структуре материала; потерь в поверхностном слое материала; газового трения [7, 8]. Влияние этих отдельных процессов неодинаково и зависят от свойств материала резонатора, его конструкции, качества обработки поверхности, уровня вакуума в приборе. Термоупругое внутреннее трение в зависимости от свойств материала и конструкции может быть как незначительным, так и полностью ограничивающим добротность резонатора. Детальный расчет термоупругих потерь позволяет достаточно точно оценить потенциальные возможности конструкции ТВГ [6, 7].

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении влияния термоупругого внутреннего трения на характеристики резонатора ТВГ, изготовленных из различных материалов.

Основная часть

2.1. Общие положения

ТВГ со стержневым ЧЭ является новой разработкой в современной гироскопии. На рис. 1 представлена объемная модель ЧЭ предлагаемая к рассматриваемому типу гироскопа.

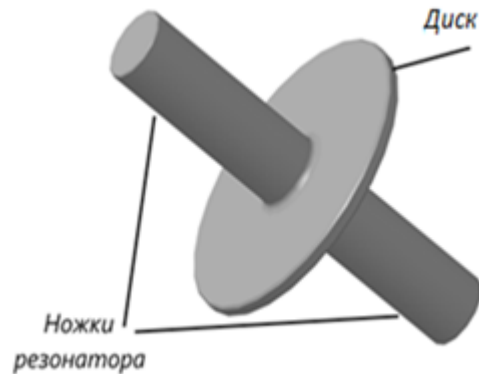


Рис. 1. Объемная модель стержневого ЧЭ

Основные преимущества ТВГ со стержневым резонатором перед ТВГ с полусферическим резонатором были рассмотрены в работах [2, 4].

2.2. Моделирование термоупругого внутреннего трения в резонаторе

При колебаниях резонатора деформация его отдельных участков имеет разные знаки, в одних местах материал расширяется, в других сжимается. Изменение объема тела при деформации требует совершения работы (A), которая может быть выражена через коэффициент теплового расширения (α) и модуль упругости (E) следующим образом [8-10]:

$$A = 9\alpha^2 TEV, \quad (1)$$

где T – температура тела, V – молярный объем вещества.

Из выражения (1) следует, что при деформации резонатора (если $\alpha \neq 0$) температура в разных частях тела будет зависеть от деформации. В свою очередь неравенство этих температур приведет к возникновению локальных тепловых потоков, что ведет к необратимому превращению механической энергии колебаний в тепловую.

В настоящей работе для определения термоупругих потерь было применено конечно-элементное моделирование затухания изгибных колебаний по 1-й моде в стержневом резонаторе (рис. 2).

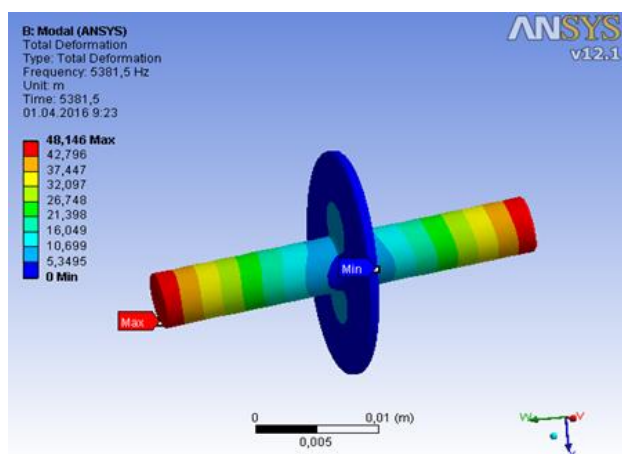


Рис. 2. Первая мода колебаний резонатора

Для заданной деформации резонатора с учетом свойств его материала рассчитывалось температурное поле. Использованные при моделировании характеристики материалов приведены в таблице 1. Геометрические размеры резонатора ТВГ приведены на рис. 3.

Таблица 1. Физические параметры материалов
Параметры материала. Материал

Параметры материала	Материал		
	Кварцевое стекло	Алюминий	Сталь
Плотность, ρ , кг/м ³	2220	2800	7900
Модуль Юнга, E, Па	$7,20 \cdot 10^{10}$	$7,08 \cdot 10^{10}$	$1,98 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона, ν	0,18	0,33	0,30
Коэффициент теплового расширения, α , 1/°C	$6,00 \cdot 10^{-7}$	$2,30 \cdot 10^{-5}$	$1,66 \cdot 10^{-5}$
Удельная теплоемкость, C_p , Дж/кг · °C	728	922	462
Объемная теплоемкость, C_v , Дж/м ³ · °C	$1,62 \cdot 10^6$	$2,58 \cdot 10^6$	$3,65 \cdot 10^6$
Коэффициент теплопроводности, k , Вт/м · °C	1,35	237	15

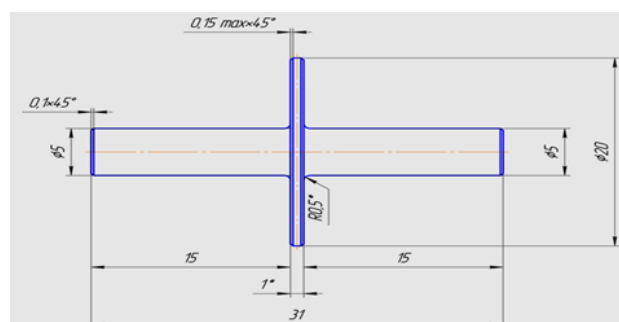


Рис. 3. Эскиз резонатора

Конечно-элементная формулировка задачи основана на приближенном методе решения связанных задач динамической теории упругости и теплопроводности. Согласно теории термоупругости связь между векторами напряжений и деформаций устанавливается в виде:

$$\sigma = D \varepsilon = D(\varepsilon_E - \varepsilon_T), \quad (2)$$

где ε_E и ε_T – тензоры упругих и температурных деформаций; σ – тензор напряжений; D – тензор модулей упругости [11-13].

2.3. Моделирование резонатора

Моделирование резонатора сводится к решению тепловой задачи. В данном исследовании определяем максимальную температуру на резонаторе, поле ее распределения (рис. 4) для трех материалов (таблица 1), при температуре окружающей среды 22°C. Результаты моделирования заносим в таблицу 2.

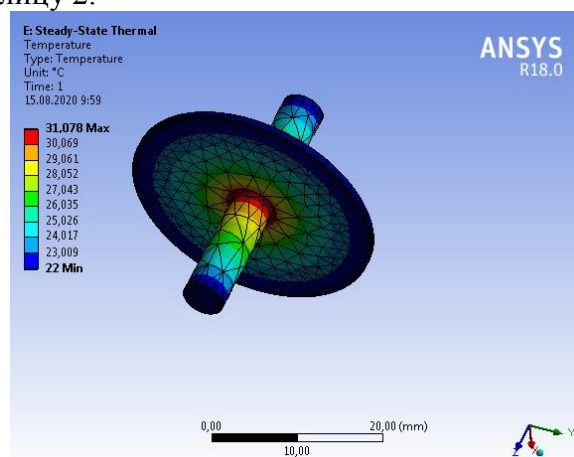


Рис. 4. Поле распределения температуры на алюминиевом резонаторе

На рис. 4 показано, что максимальная температура при работе резонатора образуется в месте соединения подвижных

частей (ножек) и неподвижной части (диска).

Таблица 2. Результаты моделирования

Результат	Материал		
	Кварцевое стекло	Алюминий	Сталь
Максимальная температура, $t_{\max}$, °C	37,9	31,1	29,1

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что кварцевое стекло нагревается больше ввиду самой низкой объемной теплопроводности.

Выводы

Характеристики материала резонатора оказывают значительное влияние на максимальную температуру нагрева изделия (время). Зависимость максимальной температуры в зоне концентрации напряжений от коэффициента теплопроводности носит линейный характер.

Микропроскальзывание в зоне крепления резонатора на данном этапе не учитывалось.

Температура нагрева резонатора во время работы далека от температуры релаксации и, следовательно, не оказывает значительного влияния на точность работы прибора. Тепловые деформации составляют доли процента и могут не учитываться в работе прибора.

Список литературы

1. Bryan G.H. On the beats in the vibrations of a revolving cylinder or bell// Proc. Camb.Phil.Soc.1890.V.7. P.101-11.
2. Котельников М.А., Башарова А.А., Лекомцев П. В., Щенятский А.В. Постановка задачи математического моделирования стержневого чувствительного элемента твердотельного волнового гироскопа. //Интеллектуальные системы в производстве –Ижевск, 2016. с. 69-73
3. Лунин Б.С. Чувствительный элемент волнового твердотельного гироскопа [Патент РФ №2166734, G01C 19/56, 2000 г].

4. Котельников М.А., Башарова А.А., Щенятский А.В. Влияние конструктивных параметров чувствительного элемента на технические характеристики твердотельного волнового гироскопа. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 92–106.
5. Yi Y.B. Finite element analysis of thermoelastic damping in contour-mode vibrations of micro- and nanoscale ring, disk, and elliptical plate resonators // Journal of Vibration and Acoustics. 2010. Vol. 132.
6. Лунин Б.С. Физико-химические основы разработки полусферических резонаторов волновых твердотельных гироскопов. М.: Изд-во МАИ, 2005. 224 с
7. Вопросы создания высокотемпературных датчиков механических величин. Материалы. Конструкции. Технологии // П. Г. Михайлов, Е. А. Мокров [и др.] // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2013. № 4. С. 61–70.
8. Шимкович Д. Г. FEMAP & NASTRAN. Инженерный анализ методом конечных элементов. М.: ДМК Пресс, 2008. 701 с.
9. Расчет параметров шероховатости поверхности при внешнем круглом шлифовании / Новоселов Ю., Братан С., Богущкий В., Гуцаленко Ю. // Журнал Fiability & Durability Supplement. № 1. 2013. С.5-15.
10. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. Под ред. Б.Е. Победри.- М.: Мир, 1975. – 541с.
11. Митчелл Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. М.: Мир, 1981.
12. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1968. 330 с.
13. Зинер К. Упругость и неупругость металлов: Сборник / под ред. С.В. Вонсовского. М.: ИИЛ, 1954. С. 9–168.

References

1. Bryan G.H. On the beats in the vibrations of a revolving cylinder or bell// Proc. Camb.Phil.Soc.1890.V.7. P.101-11.
2. Kotelnikov M.A., Basharova A.A., Lekomcev P.V., Schenytskyi A.V. [Statement of the problem of mathematical modeling of a rod sensitive element of a solid-state wave gyroscope]. Intel'lektual'nye sistemy v proizvodstve, 2016, no. 1, pp. 12-14 (in Russ.).
3. Lunin B.S. Chuvstvitel'nyy element volnovogo tverdotelnogo giroskopa. [Pt. RF №2166734, G01C 19/56, 2000 г].
4. Kotelnikov M.A., Schenytskyi A.V., A. A. Basharova [The influence of the design parameters of the sensitive element on the technical characteris-

- tics of a solid-state wave gyroscope]. Vestnik PSTU, 2017, no. 2, pp.92-106 (in Russ.).
5. Yi Y.B. Finite element analysis of thermoelastic damping in contour-mode vibrations of micro- and nanoscale ring, disk, and elliptical plate resonators // Journal of Vibration and Acoustics. 2010. Vol. 132.
 6. Lunin B.S. Fiziko-khimicheskie osnovy razrabotki polusfericheskikh rezonatorov volnovykh tverdotelnykh giroskopov [Physical-chemical basis for development of hemisphere resonator gyroscopes]. Moscow, MAI Publ., 2005. 224 p.
 7. Mikhailov P. G., Mokrov E. A., et al. Voprosy sozdaniya vysokotemperaturnykh datchikov mekhanicheskikh velichin [The problems of creating hightemperature sensors of mechanical quantities. Materials. Constructions. Technologies]. Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' [Measure. Monitoring. Control. Management], 2013, no. 4, pp. 61–70. (In Russian).
 8. Shimkovich D. G. FEMAP & NASTRAN. Engineering analysis by the finite element method. M. : DMK Pres, 2008. 701 p.
 9. Calculation of surface roughness parameters for external cylindrical grinding / Novoselov Y., Bratan S., Bogutski V., Gutsalenko Y. // Journal Fia-bility & Durability Supplement. No 1. 2013. P. 5-15..
 10. Zenkevitch O. Finite element method in engineering. B. E. Pobedri.-M.:Mir, 1975. – 541p.
 11. Mitchell A.R., Wait R. The Finite Element Method in Partial Differential Equations. London–New York–Sydney–Toronto, John Wiley & Sons, 1977.
 12. Postnikov V.S. Vnutrennee trenie v metallakh [Internal friction in metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969. 330 p.
 13. Zener C.M. Elasticity and Anelasticity of Metals. USA, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1948 (Russ. ed.: Ziner K. Uprugost' i neuprugost' metallov, S.V. Vonsovskiy ed. Moscow, Inostrannaya Lit. Publ., 1954. 248 p.).

УДК 621. 923

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ РЕЗЬБ МЕТЧИКАМИ

А.О. Харченко, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая¹¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г.Севастополь, Российская Федерация

Аннотация

В статье приведены результаты исследований показателей надежности при формообразовании резьбы метчиками – машинно-ручными (режущими), пластически деформирующими и режуще-деформирующими. Для исследования интенсивностей отказов их функционирования в лабораторных условиях проведен полный факторный эксперимент, представлены условия его планирования. Полученные в результате исследования данные позволили выявить для трех видов метчиков наработки на отказ. Результаты статистического исследования указанных метчиков сведены в таблицу. На основании результатов вычислений строили графики относительных частот распределения времени между отказами функционирования метчиков для каждого из вариантов. В числе наиболее частых причин отказов функционирования машинно-ручных метчиков наблюдались поломки рабочей части, у пластически деформирующих метчиков – выкрашивание зубьев заборного участка и переходных зубьев. У режуще-деформирующих метчиков наблюдались отказы примерно в равных соотношениях как по первой, так и по второй причинам, однако они для них характерны более высокие показатели надежности.

Ключевые слова: машинно-ручные метчики, пластически-деформирующие метчики, режуще-деформирующие метчики, отказ функционирования, планирование эксперимента, матрица планирования, относительные частоты распределения.

RESEARCH OF RELIABILITY INDICATORS FOR FORMING SMALL-SIZED THREADS WITH TAPS

A.O. Kharchenko¹, A.A. Kharchenko¹, E.A. Vladetskaya¹¹ FSFAEI HE «Sevastopol state university», Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of studies of reliability indicators for thread forming by taps – machine-manual (cutting), plastic deforming and cutting-deforming. To study the failure rates of their functioning in the laboratory, a full factorial experiment was conducted, and the conditions for its planning were presented. The data obtained as a result of the research allowed us to identify the failure times for three types of taps. The results of statistical research of these tags are summarized in a table. Based on the results of calculations, graphs of the relative frequency distribution of time between taps failures were constructed for each of the variants. Among the most frequent causes of failures in the operation of machine-hand taps, there were breakdowns of the working part, and in plastic-deforming taps, the teeth of the fence section and transition teeth were painted. The cutting and deforming taps had failures in approximately equal proportions for both the first and second reasons, but they are characterized by higher reliability indicators.

Keywords: machine-manual taps, plastic-deforming taps, cutting-deforming taps, failure of operation, experiment planning, planning matrix, relative distribution frequencies.

В современных условиях для внутренней мелкоразмерной резьбообработки (М2...М6) практически единственно возможным остается формообразование резьбы метчиками – машинно-ручными

(режущими), пластически деформирующими и режуще-деформирующими [1-6]. Несмотря на накопленный значительный опыт исследований процесса формообразования резьбовой поверхности в мелко-

размерных отверстиях [4, 5, 7], надежность различных видов метчиков при обработке труднообрабатываемых материалов до сих пор недостаточно изучена.

Методика исследования эксплуатационной надежности резьбонарезного оборудования с учетом большого числа различных факторов достаточно сложна и трудоемка [8, 9]. С целью исследования интенсивностей отказов функционирования и интенсивностей восстановления технологических элементов сравниваемых вариантов модулей необходимо провести в лабораторных условиях полный факторный эксперимент типа 2^n для выявления экспериментальных условий функционирования элементов модулей.

Пользуясь таким планированием, можно представить исследуемую зависимость $\eta(x)$, $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в виде полинома:

$$\eta(x) = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots, \quad (1)$$

$$1 \leq i < j \leq n; 1 \leq i < j < k \leq n,$$

где $\{\beta\}$ – коэффициент уравнения регрессии.

Учитывая, что надежность таких технологических элементов, как метчики определяется в первую очередь прочностью обрабатываемого материала, скоростью резьбонарезания и диаметром отверстия, рассмотрим задачу по определению зависимости стойкости метчиков от перечисленных факторов: прочности обрабатываемого материала $\sigma(x_1)$, скорости резьбообработки $V(x_2)$ и диаметра отверстия $d(x_3)$, то есть

$$Y = T_H' = f(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

Для испытаний брали трехгранные пластически деформирующие метчики (ПДМ, рисунок 1, а), машинно-ручные метчики (МРМ) (ГОСТ1604-71) и режуще-деформирующие метчики (РДМ, рисунок 1, б), изготовленные из стали Р9К5 (ГОСТ 19265-73) с твердостью рабочей части HRC 62...65. Максимальная прочность обрабатываемого материала (ВТ 3) принята равной $\sigma_B = 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$, минимальная $\sigma_B = 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$ (сталь 34ХНЗМ).

Скорость резьбообработки изменяли от 0,042 до 0,15 м/с. Диаметры отверстия под резьбу М4 изменяли для ПДМ в диапазоне от 3,30 до 3,50 мм. Значения остальных параметров принимали постоянными. Условия планирования эксперимента с заданными границами, уровнями и шагами варьирования независимых переменных X_1, X_2, X_3 в натуральном кодированном виде представлены в таблице 1. План эксперимента – матрица планирования (таблица 2, левая часть), иллюстрирует уровни значений параметров, которые имели метчики в данной точке факторного пространства.



Рис. 1. Конструкции пластически-деформирующего (а) метчика (ПДМ) и режуще-деформирующих (б) метчиков (РДМ)

Таблица 1. Условия планирования экспериментальных исследований метчиков на эксплуатационную надежность

Условия	$\sigma(x_1)$		$V(x_2)$		$d(x_3)$	
	Н/мм^2	код	м/с	код	мм	код
Уровень:						
Верхний	10^{-3}	+1	0,15	+1	3,76	+1
Нижний	$0,6 \times 10^{-3}$	+1	0,04	-1	3,62	-1
Основн.	$0,8 \times 10^{-3}$	0	0,09	0	3,69	0
Шаг	$0,2 \times 10^{-3}$	-	0,05	-	0,07	-

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

Планирование			Стойкость инструмента T_{II}' , мин				S_{yu}^2
X_1	X_2	X_3	Y_{II1}	Y_{II2}	Y_{II3}	$Y=(Y_{II})$	
–	–	–	14,1	14,2	13,7	14,0	0,07
+	–	–	1,7	1,6	1,8	1,7	0,02
–	+	–	3,9	4,1	3,8	3,9	0,03
+	+	–	0,8	0,9	0,7	0,8	0,02
–	–	+	14,5	14,6	14,4	14,5	0,01
+	–	+	1,7	1,5	1,9	1,7	0,04
–	+	+	4,1	3,8	4,2	4,1	0,05
+	+	+	0,9	0,7	1,1	0,9	0,02

Обрабатывали сквозные резьбовые отверстия размером М4 в заготовках из сталей 34ХНМ3 ($\sigma_B=0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), 12Х21Н3Т ($\sigma_B=0,7 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), ВЖ36-Д2 ($\sigma_B=0,8 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$). В качестве смазывающе-охлаждающего технологического средства (СОТС) использовали сульфол (ГОСТ 122-84). Средний и внутренний диаметры обработанной резьбы контролировали гладкими и резьбовыми калибрами. Для оценки эксплуатационной надежности метчиков определяли их суммарную стойкость, то есть время от начала работы до поломки зубьев рабочей части или стержня метчика. Суммарная стойкость (наработка на отказ) определяется по формуле:

$$T_{II}' = k_0 h / n_{ш} P_M, \quad (3)$$

где k_0 – количество обработанных резьбовых отверстий; h – глубина отверстия, мм; $n_{ш}$ – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; P_M – шаг резьбы метчика, мм.

В правой части табл. 2 приведены результаты испытаний ПДМ (соответствующих анализируемым вариантам I_2), когда значения исследуемых параметров обработки (σ_B , V , d) составили восемь различных комбинаций, указанных в матрице планирования.

В результате дисперсионного анализа результатов эксперимента окончательное искомое уравнение зависимости имеет вид:

$$Y(X) = 2,964 - 6,473X_1 + 4,765X_2 + 3,699X_3 \quad (4)$$

Для нахождения оптимальных параметров при наличии уравнения (4) применяли метод крутого восхождения по поверхности отклика (таблица 3).

Таблица 3. Результаты испытаний метчиков на эксплуатационную надежность

Исследуемые факторы	σ_B , Н/мм	V , м/с	d , мм	T , мин
b_i	–6,473	4,76	3,69	–
$b_i \times \Delta$	$-1,3 \times 10^{-3}$	0,26	0,26	–
Шаг, q	$-0,08 \times 10^{-3}$	1	0,02	–
Опытные данные	$0,72 \times 10^{-3}$ $0,64 \times 10^{-3}$	0,11 0,13	3,71 3,72	14,63 14,84

В первой строке табл. 3 указаны значения коэффициентов уравнения регрессии. Затем вычисляли произведения коэффициентов b_i на интервал варьирования $\Delta(x)$ (вторая строка). Максимальное значение имело произведение $b_i \Delta(x_2) = 15,48$, которое и было принято за базовое. Для базового фактора X_2 выбран шаг крутого восхождения $q_2 = 1$. Шаг для остальных факторов X_1 и X_3 находили по соотношениям:

$$q_1 = -1,3 \times 10^{-3} / 15,486 = -0,08 \times 10^{-3};$$

$$q_3 = 0,259 / 15,486 = 0,02.$$

Полученные шаги занесены в третью строку. В следующих строках показан процесс восхождения с реализацией опытов. Из анализа результатов испытаний следует, что стойкость метчиков повышается с уменьшением прочности обрабатываемого материала. Однако дальнейшее уменьшение прочности материала нецелесообразно, так как при значениях $\sigma_B < 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}$ наблюдается выход за пределы диапазона труднообрабатываемых материалов, что противоречит условиям испытаний на надежность по экстремальному уровню. Поэтому значения параметров, записанные в последней

строке, можно считать приемлемыми для результатов испытаний ПДМ: материал 12X13 ($\sigma_B < 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), $V=0,13 \text{ м/с}$, $d=3,72 \text{ мм}$.

Полученные аналогичным образом (в результате факторного эксперимента) данные для машинно-ручных метчиков (I_1) и режуще-деформирующих метчиков (I_3) позволили выявить для них условия проведения испытаний на эксплуатационную надежность. Так, для варианта I_1 выбирали обрабатываемый материал 34ХНЗМ ($\sigma_B < 0,58 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), $V=0,07 \text{ м/с}$, $d=3,24 \text{ мм}$. Для варианта I_3 брали материал 12Х21Н5Т ($\sigma_B < 0,7 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), $V=0,117 \text{ м/с}$, $d=3,34$. Время между двумя отказами функционирования каждого технологического элемента является случайной величиной, так как обусловлено случайными событиями (например, метчики, взятые из одной партии, имеют отличия по геометрическим параметрам, прочности, шероховатости поверхности, что сказывается на их стойкости). Исследования наработки на отказ метчиков (T_{II}^I) трех структурных вариантов (I_1 , I_2 , I_3) производили в течении месяца в лабораторных условиях с учетом параметров обработки и режимов, выбранных для каждой конструкции в процессе факторного эксперимента. Результаты статистического исследования указанных метчиков сведены в таблицу 4, где показаны математические ожидания $M[T_{II}^I]$ дискретных случайных величин времени T_{II}^I между двумя отказами функционирования метчиков. Дисперсия $D[T_{II}^I]$ при этом отличается от соответствующего математического ожидания на 2,5%, 6% и 11%, что дает возможность утверждать о распределении случайной величины T_{II}^I по закону Пуассона. Для статистического описания процесса возникновения отказа рассчитывали относительные частоты распределения $h(T_{II}^I)$. На основании результатов вычислений строили графики относительных частот распределения для каждого варианта метчиков (рисунок 2).

Анализ графиков допускает возможность использования гипотезы об экспоненциальном характере распределения

времени между двумя отказами функционирования метчиков. Проверка по критерию Бартлетта (таблица 5) также подтвердила справедливость этой гипотезы.

Характерными причинами отказов функционирования метчиков машинно-ручных (I_1) были поломки рабочей части, пластически деформирующих (I_2) – выкрашивание зубьев заборного участка и переходных зубьев между заборным и калибрующим участками.

Таблица 4. Экспериментальные значения времени между отказами функционирования метчиков

Вариант метчика	Математ. ожидание, $M[T_{II}^I]$, мин	Дисперсия, $D[T_{II}^I]$
Машинно-ручной – I_1	7,9	8,1
Пластически-деформирующий – I_2	14,6	13,7
Режуще-деформирующий – I_3	21,9	19,4

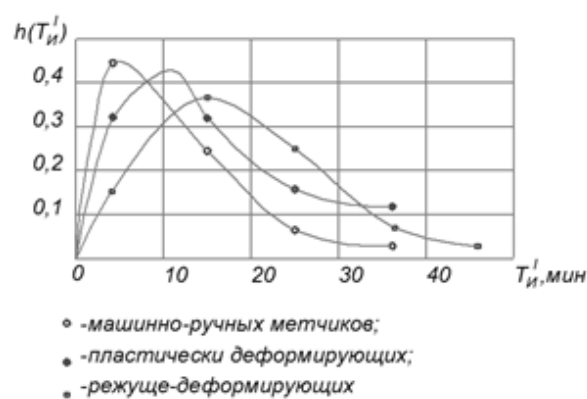


Рис. 2. Относительные частоты распределения времени между отказами функционирования метчиков

Таблица 5. Результаты экспериментальной оценки применимости гипотезы экспоненциального распределения отказов функционирования метчиков

№ п/п	Определяемый параметр	Варианты метчиков			
		I_1	I_2	I_3	
1.	Двусторон- ний критерий	$\chi^2_{0,95}$	73,5	69,1	60,4
		$\chi^2_{0,05}$	118,7	113,2	101,9
2.	Критерий Бартлетта	B_n	98.7	101,2	79,4

Режуще-деформирующие метчики (I_3) по первой и по второй причинам вы-

ходили из строя примерно в равных соотношениях. При этом наиболее высокие показатели надежности (средняя наработка на отказ $T^I_H = 22$ мин при работе с труднообрабатываемыми материалами) получены именно при использовании режущо-деформирующих метчиков.

Список литературы

1. Харченко А.О. Патентоведение и изобретательство: практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с.
2. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
3. Фруммин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / Ю.Л. Фруммин. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
4. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Серeda. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
5. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Г. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
6. Мировпояский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Мировпояский, Э.П. Луговой. – М.: Машиностроение, 1976. – 214 с.
7. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие / А.О. Харченко – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 260 с.
8. Братан С.М. Процессы и операции формообразования поверхностей при механической обработке: Учеб. пособие / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, Е.А. Левченко и др. – М.: Центркаталог, 2018. – 200 с.
9. Братан С.М. Повышение точности формообразования мелкогазмерных резьб метчиками в алюминияевых сплавах: монография / С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 164 с.

References

1. Kharchenko A.O. Patentovedeniye i izobretatel'stvo: praktikum (Patenting and invention) / A.O. Kharchenko, A.G. Karlov, A.A. Kharchenko, K.N. Osipov. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 112 s.
2. Matveyev V.V. Narezaniye tochnykh rez'b (Precision Thread Cutting) / V.V. Matveyev. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 88 s.
3. Frumin Yu.L. Vysokoproizvoditel'nyy rez'boobrazuyushchiy instrument (High-performance thread-forming tool) / Yu.L. Frumin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 183 s.
4. Men'shakov V.M. Besstruzhechnyye metchiki (Chipless taps) / V.M. Men'shakov, G.P. Ur-lapov, V.S. Sereda. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 167 s.
5. Yakukhin V.G. Optimal'naya tekhnologiya izgotovleniya rez'b (Optimal thread manufacturing technology) / V.G. Yakukhin. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 184 s.
6. Miro-poya'skiy Yu.A. Nakatyvaniye rez'b i profi-ley (Rolling threads and profiles) / Yu.A. Miro-pol'skiy, E.P. Lugovoy. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 214 s.
7. Kharchenko A.O. Metalloobrabatyvayushchiye stanki i oborudovaniye mashinostroitel'nykh pro-izvodstv (Metalworking machines and equipment of machine-building industries): Ucheb. posobiye / A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy ucheb-nik: INFRA-M, 2017. – 260 s.
8. Bratan S.M. Protsessy i operatsii formoobra-zovaniya poverkhnostey pri mekhanicheskoy obrabotke (Processes and operations of forming surfaces during machining): Ucheb. posobiye / S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, Ye.A. Levchenko i dr. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 200 s.
9. Bratan S.M. Povysheniye tochnosti formoobra-zovaniya melkorazmernykh rez'b metchikami v alyuminiyevykh splavakh (Improving the accu-racy of shaping small-sized threads with taps in aluminum alloys): monografiya / S.M. Bratan, F.N. Kanareyev, P.A. Novikov, A.O. Kharchen-ko. – M.: Vuzovskiy ucheb-nik: INFRA-M, 2017. – 164 s.

УДК 621.7.01.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

А.А. Башарова¹, М.А. Котельников¹, А.В. Щенятский¹¹ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г.Ижевск, Российская Федерация

Аннотация

В статье рассматриваются процессы финишной обработки деталей из кварцевого стекла, используемых в качестве чувствительных элементов гироскопа. Определены факторы процесса полирования свободным абразивом на формообразование и формирование микрогеометрии поверхностей. Выявлена роль химического травления в цикле операций финишной обработки деталей из кварцевого стекла. Разработана структурная схема финишной обработки деталей из кварцевого стекла, описывающая функционирование процессов обработки с отображением входных и возмущающих факторов, а также повторяющийся цикл финишной обработки полирование-травление, позволяя таким образом проводить послойное удаление припуска материала, что даёт возможность корректирования входных и возмущающих факторов в процессе полирования свободным абразивом. Данный технологический подход позволяет управлять процессом финишной обработки кварцевого стекла, имеющим стохастическую природу.

Ключевые слова: кварцевое стекло, полирование, технологические подходы, структурная схема.

TECNOLOGICAL APPROACHES TO THE TREATMENT OF PARTS MADE OF QUARTZ GLASS

A.A. Basharova¹, M.A. Kotelnikov¹, A.V. Shchenyatsky¹¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The article focuses on the processes finish machining of parts made of quartz glass that are used as sensitive elements of the gyroscope. The factors of the process of polishing with free abrasive on the formation and formation of microgeometry of surfaces are determined. The role of chemical etching in the cycle of finishing operations of quartz glass parts is revealed. Structural diagram of finished machining of quartz glass, describing the functioning of processes with the mapping of the input and disturbances, and repetitive cycle finishing polishing-etching, hence enabling layer-by-layer removal of stock material that gives the option of adjusting the input and disturbing factors in the process of polishing free abrasive. This technological approach allows you to control the finishing process of quartz glass having a stochastic nature.

Keywords: quartz glass, polishing, technological approaches, block diagram.

Введение

В современном производстве является актуальным решение задач по выбору технологических методов и подходов к изготовлению деталей и узлов навигационных приборов. Чувствительный элемент гироскопа – резонатор изготавливается из кварцевого стекла и имеет малый размер и сложный геометрический профиль. Формообразование и дальнейшая обработка резонатора представляется сложными процессами таки-

ми как, алмазное шлифование, химическое травление и полирование. Поскольку технические требования к поверхности и форме высоки, то проблема технологических подходов и методов к обработке детали становится актуальной.

Целью работы является разработка технологического подхода к финишной обработке детали из кварцевого стекла на основе анализа процессов, протекающих при полировании детали свободным абразивом и

имеющую определенную технологическую наследственность, а также влияние воздействия химического травления на обрабатываемую поверхность детали из кварцевого стекла.

Процессы полирования и травления кварцевого стекла

2.1. Полирование свободным абразивом

При полировании свободным абразивом используется абразивная суспензия - дисперсионная среда, в которой абразивные зерна распределены в жидкости в виде мельчайших частиц в взвешенном состоянии. Известно, что на производительность процесса оказывает влияние концентрация абразива в суспензии, а также абразивное зерно [1]. В качестве инструмента используется жесткий инструмент – притир, на поверхность которого поступает в автоматическом режиме абразивно-доводочная смесь [2]. При выполнении работы свободным абразивом деталь сохраняет технологическую наследственность от обработки алмазным шлифованием, что оказывает прямую зависимость на качество обрабатываемой поверхности детали [2,3].

Изменение кинематических, технологических, динамических и геометрических факторов полирования приводят к изменению в процессе обработки свойств поверхностного слоя полируемых поверхностей детали, а также интенсивности изнашивания материала, что свидетельствует об управлении выходными параметрами процесса полирования – параметрами качества и производительности обработки [4].

Модель процесса резания строится на основании факторов, влияющих на качество обработанной поверхности и производительность процесса. К технологической группе относятся рабочее давление притира на обрабатываемую поверхность детали, концентрацию абразивных частиц в объеме абразивной суспензии, состояние поверхностных слоёв материала притира и заготовки. К кинематической группе относят соотношения угловых скоростей и линейных размеров звеньев исполнительного механиз-

ма станка, определяющие значения и законы изменения скорости (v) и ускорения (a^r) относительного движения заготовки с притиром. Динамические факторы – среднее значение и закон изменения силы взаимодействия заготовки через абразивную суспензию с притиром, действующей в плоскости, касательной к поверхности контакта заготовки с притиром.

Геометрические факторы – точность формы рабочей поверхности притира и заготовок, формы и размеры канавок для подвода абразивной суспензии, относительное расположение осей притира, сепараторов и заготовок в последних, а также соотношение линейных размеров обрабатываемых поверхностей и заготовок и притира [5].

Для получения высоких классов чистоты обработки поверхностей детали (11-13 класс чистоты) целесообразно иметь ступенчатый цикл съема материала последовательно снижая съём материала за один этап полирования [6].

2.2. Травление в плавиковой кислоте

Кварцевое стекло не подвергается заметному растворению в сильных минеральных кислотах, но легко растворяется во фтороводородной (плавиковой) кислоте. Для травления кварцевого стекла применяются водные растворы различных реагентов с использованием фтороводородной кислоты или её солей. От состава травильного раствора и условий его применения зависит скорость и характер химического процесса. При этом можно выявить имеющиеся в поверхности детали дефекты кристаллической решетки [7]. Ввиду характерного протекания процесса полирования в поверхностном слое заготовки образуются микротрещины, эти микротрещины пересекаются между собой и при повторном воздействии абразивных зерен полировальной суспензии образуются выколки и оставшиеся микротрещины, которые могут подлежать «заживлению» как в случае с металлом [8]. Обработанная поверхность имеет микрорельеф, под которым в массе материала остаются микротрещины.

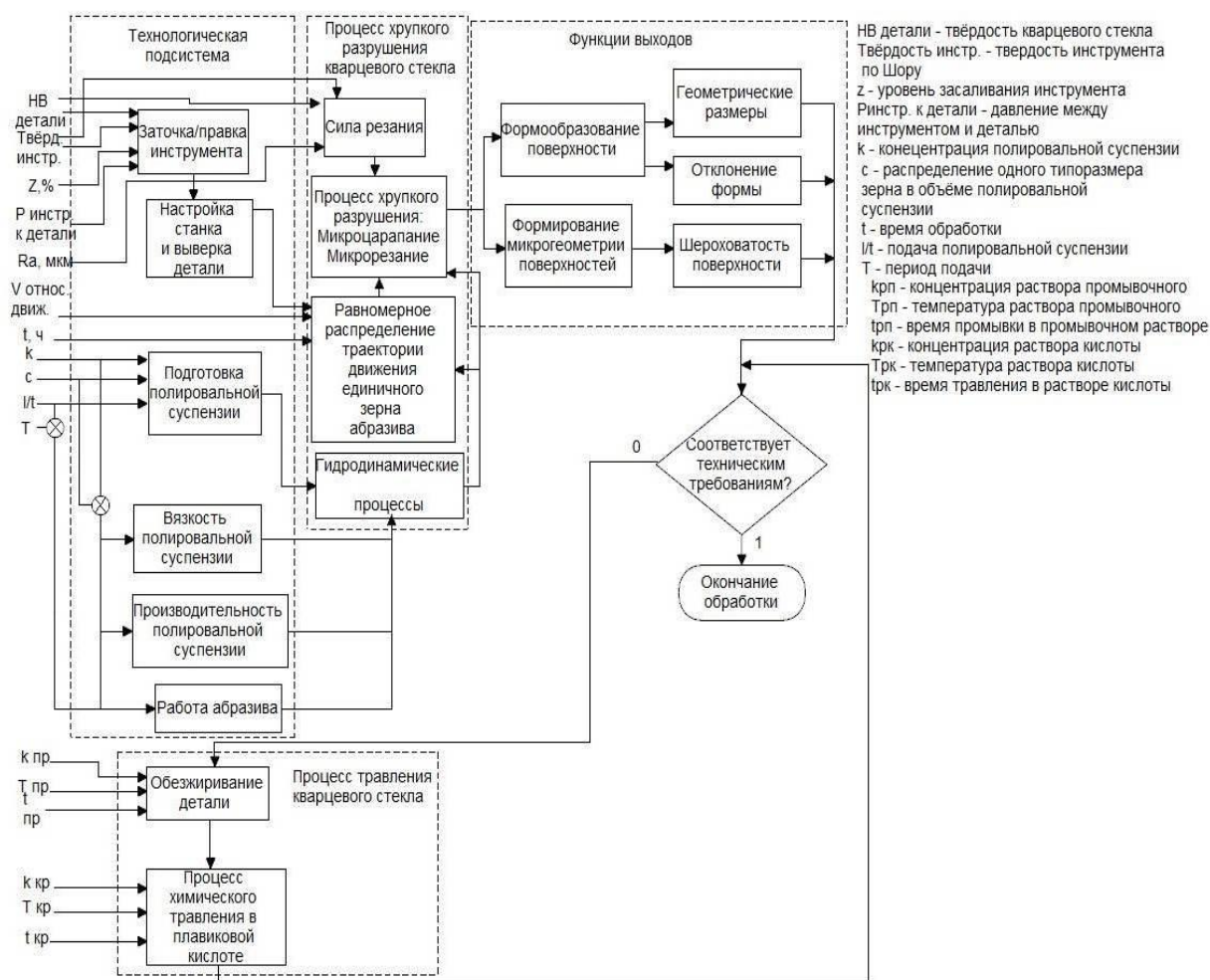


Рис. 1. Структурная схема финишной обработки деталей из кварцевого стекла

Поэтому для вскрытия этих микротрещин применяется химическое травление. Данный процесс позволяет определить глубину залегания микроразрушений при их отсутствии или наличии на обработанной поверхности. При снятии припуска с поверхности детали от 0,02 до 0,05 мм, необходима циклическая обработка: полирование-травление, которая ведёт к послойному снятию материала с поверхности заготовки. Время процесса полирования в разы превосходит время процесса травления, однако этот процесс тоже имеет стохастическую природу, что влечет за собой изменение геометрических параметров детали и шероховатости поверхности [9].

Разработка технологического подхода к финишной обработке детали из кварцевого стекла

Проведя анализ существующих методов и подходов к полированию свободным абразивом и травлению, была разработана структурная схема финишной обработки деталей из кварцевого стекла (рис.1).

Структурная схема представлена совокупностью отдельных подсистем, определяющих функционирование процессов финишной обработки с отображением входных и возмущающих факторов, показывает механизмы формообразования поверхности и формирования микрогеометрии поверхностей на основе их математического описания представляется возможным целенаправленное управление процессом обработки. Груп-

па процессов «Технологической подсистемы», а также процесса хрупкого разрушения кварцевого стекла направлена на решение основной задачи – обработки поверхности детали полирование свободным абразивом. Процесс травления кварцевого стекла является вспомогательным циклом в финишной обработке, но отображает качественную картину результата полирования, что ведет к своевременной корректировке входных и возмущающих факторов процесса полирования при выявленных дефектах.

Выводы

Проведенный анализ технологических подходов к финишной обработке деталей из кварцевого стекла показал, что на качество обработанной поверхности и геометрическую форму влияет технологическая наследственность детали, а также процесс хрупкого разрушения, включающий в себя силу резания, стохастические процессы микроцарапания и микрорезания, распределение траекторий движения единичного зерна абразива по заданному закону, а также гидродинамические процессы. Выявлена необходимость выполнения вспомогательного процесса химического травления в цикле финишной обработки с целью выявления дефектов на поверхности детали, а также возможности корректировки входных и возмущающих факторов процесса полирования свободным абразивом. Таким образом, послойное удаление припуска материала с чередованием процессов полирования-травления позволяет управлять процессом финишной обработки кварцевого стекла, имеющим стохастическую природу.

Список литературы

1. Ящерицын П. И., Зайцев А. Г., Барботько А. И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 328 с.
2. Масловский В.В. Справочник по доводочным работам. – Х.: Прапор, 1985. – 121 с., схем.
3. А.В. Щенятский, А.А. Башарова. Параметры обрабатывающего инструмента и качество элементов изделий. // Вестник ИжГТУ. 2019. – Т. 22, №2. – с. 3-10.

4. Орлов П. Н., Нестеров Ю. И., Полухин В. А. Процессы доводки прецизионных деталей пастами и суспензиями. – М.: Машиностроение, 1975. – 56 с.: ил.
5. A. Shchenyatsky, A. Basharova, E. Pivarčiová et al., Analysis of the results of the finishing process for manufacturing low-hardness products from non-metallic structural materials, *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19, part 5. – 2576-2580 p. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.251>
6. Щенятский А.В. Кинематика движения единичного зерна абразива при полировании плоских поверхностей хрупких неметаллических деталей. / Щенятский А.В., Башарова А.А. // Сборник материалов XII Всероссийского совещания, посвященного 100-летию М.Т. Калашникова. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2019. – с. 92-97.
7. Ахметшин Э.А., Чердниченко А.Г. Исследование процессов декорирования кварца методом химического травления. //Успехи в химии и химической технологии. 2017. – Том XXXI, №15. – с.66-69.
8. G. Q. Xu and M. J. Demkowicz. Healing of Nanocracks by Disclinations *Phys. Rev. Lett.* 111, 145501 –2013 Vol. 111, Iss. 14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.145501>.
9. Ю.К. Новоселов, С.М. Братан. Моделирование процессов взаимодействия шлифовального круга и заготовки при чистовом шлифовании. //Вісник СевНТУ: зб. наук.пр. Вип. 118/2011. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. с. 92-106.

References

1. Jashhericyn P.I., Zajcev A.G., Barbot'ko A.I. Tonkie dovochnye processy obrabotki detalej mashin i priborov [Subtle finishing processes for processing machine parts and instruments]. – Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. – 328 p.
2. Maslovskii V.V. Spravochnik po dovochnim rabotam [Reference guide for finishing works]. – H.:Prapor, 1985. – 121p.
3. Shchenyatsky, A. Basharova. Parametri obrabativayushchego instrumenta I kachestvo elementov izdelii [Parameters of the processing tool and quality of product elements] // Bulletin of Kalashnikov ISTU, 2019. – vol. 22, no.№2. – p. 3-10 (in Russ).
4. Orlov P.N., Nesterov U.I., Poluhin V.A. Processy dovodki precizionnyh detalej pastami i suspenzijami [Precision parts finishing processes with pastes and suspensions]. – Moscow: Mashinostroenie Publ., 1975. – 56 p. (in Rus.).
5. Shchenyatsky, A. Basharova, E. Pivarčiová et al., Analysis of the results of the finishing process for manufacturing low-hardness products from non-metallic structural materials, *Materials Today: Pro-*

- ceedings. 2019. Vol. 19, part 5. – 2576-2580 p. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.251>
6. Shchenyatsky A.V. Kinematica dvizheniyaedinichnogo zernaabraziva pri polirovanii ploskihpoverhnoستي hrupkih nemetallicheskih detalei// Shchenyatsky A.V., Basharova A.A. [Kinematics of movement of a single grain of abrasive when polishing flat surfaces of brittle non-metallic parts.] Collection of materials of the XII all-Russian meeting dedicated to the 100th anniversary of M. T. Kalashnikov. 2019 p. 92-97. (in Russ.).
7. Ahmetshin E.A., Cherednichenko A.G. Issledovanie processov decorirovaniya kvarca metodom himicheskogo travleniya [Investigation of quartz decoration processes by chemical etching.]/Uspehi v himii i himicheskoi tehnologii. 2017. Vol. XXXI, no. 15. – p.66-69. (in Russ.).
8. G. Q. Xu and M. J. Demkowicz. Healing of Nanocracks by Disclinations Phys. Rev. Lett. 111, 145501 –2013 Vol. 111, Iss. 14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.145501>.
9. U.K. Novoselov. S.M. Bratan. Modelirovanie processov vzaimodeistviya shlifovalnogo kruga i zagotovki pri chistovom shlifovanii [Modeling of interaction between the grinding wheel and the workpiece during finishing grinding]. //Bulletin SevNTU. Publ 118/2011. Seriya: MashinopriBORostroeniya i transport. – Sevastopol, 2011. – p. 92-106.

УДК 62-531.3, 621.646.4

УПРАВЛЕНИЕ РАСХОДОМ МАСЛА ПРИ ГИДРОПРЕССОВОЙ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

А.В. Романов¹, А.В. Щенятский¹¹ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г.Ижевск, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены структурные схемы технологических процессов сборки гидропрессовых соединений. Выявлены особенности регулирования параметров сборочного процесса при использовании схемы с подводом масла с торца соединения. Проведен анализ основных способов управления расходом масла при сборке гидропрессовых соединений, определены основные недостатки данных способов. Предложен комбинированный способ управления расходом масла и разработан стенд, позволяющие компенсировать данные недостатки. Представлены результаты экспериментальных исследований режимов гидропрессовой сборки при различных способах управления расходом масла через зазор. Даны рекомендации по обеспечению сборочных режимов с использованием данных способов управления расходом масла.

Ключевые слова: гидропрессовая сборка, режимы сборки, соединение с натягом, расход масла, управление.

OIL FLOW CONTROL DURING HYDROPRESS ASSEMBLING OF INTERFERENCE FITS

A.V. Romanov¹, A.V. Shchenyatsky¹¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

The block diagrams of technological processes for assembling of hydropress joints are considered. The features of assembling process parameters regulation when using a scheme with an oil supply from the joint end are revealed. The analysis of the main methods of oil consumption control when assembling hydropress joints is carried out, the main disadvantages of these methods are identified. To compensate for these disadvantages a combined method of oil consumption control has been proposed and a test bench has been developed. The results of experimental studies of the hydropress assembling modes with different methods of controlling the oil flow through the gap are presented. Recommendations for ensuring assembly modes using these methods of oil consumption control are given.

Keywords: hydropress assembling, assembling modes, interference fit, oil flow rate, control.

Введение

Одной из прогрессивных технологий получения соединений с натягом является гидропрессовый метод сборки [1,2], в основе которого лежит создание между контактирующими поверхностями собираемых деталей масляной прослойки под высоким давлением, вследствие чего взаимное перемещение сопрягаемых поверхностей вала и втулки (под действием осевого усилия прессы) происходит в условиях жидкостного и граничного трения.

Обеспечение требуемых режимов гидропрессовой сборки соединений с натягом является сложной технологической задачей для современного машиностроительного производства [3].

В промышленности широкое применение нашли следующие схемы подвода масла: через маслораспределительную канавку, подвод масла с торца соединения, с использованием фальшпоршня, дифференциальный [4,5].

Наиболее сложной с точки зрения обеспечения стабильности процесса сборки яв-

ляется технологическая схема с подводом масла с торца соединения [6], отличительной особенностью которой является избыточный объем масла, что требует регулирования параметров сборки во избежание пластических деформаций охватываемой детали, кроме того требует значительного времени для его протекания через зазор. Повышение производительности сборки и обеспечение качества соединений с использованием данной схемы представляет определенный научный интерес.

Способы управления расходом масла при гидропрессовой сборке

Анализ литературных источников показал, что существует три основных способа регулирования расхода рабочей жидкости при сборке гидропрессовых соединений [7]:

- управление скоростью запрессовки;
- отвод избыточного объема масла с помощью регулятора давления;
- объемное регулирование путем применения управляемых насосов высокого давления.

Первый способ подразумевает использование управляемых прессов, обеспечивающих регулирование давления масла путем изменения скорости запрессовки. Второй способ регулирования основывается на отведении избыточного объема масла из зоны запрессовки с применением автоматизированного регулятора объема. В основе третьего способа лежит использование объемного регулирования на базе насоса с управляемой подачей с обратной связью по давлению.

Структурные схемы технологического комплекса гидропрессовой сборки с применением данных способов регулирования приведены на рис. 1.

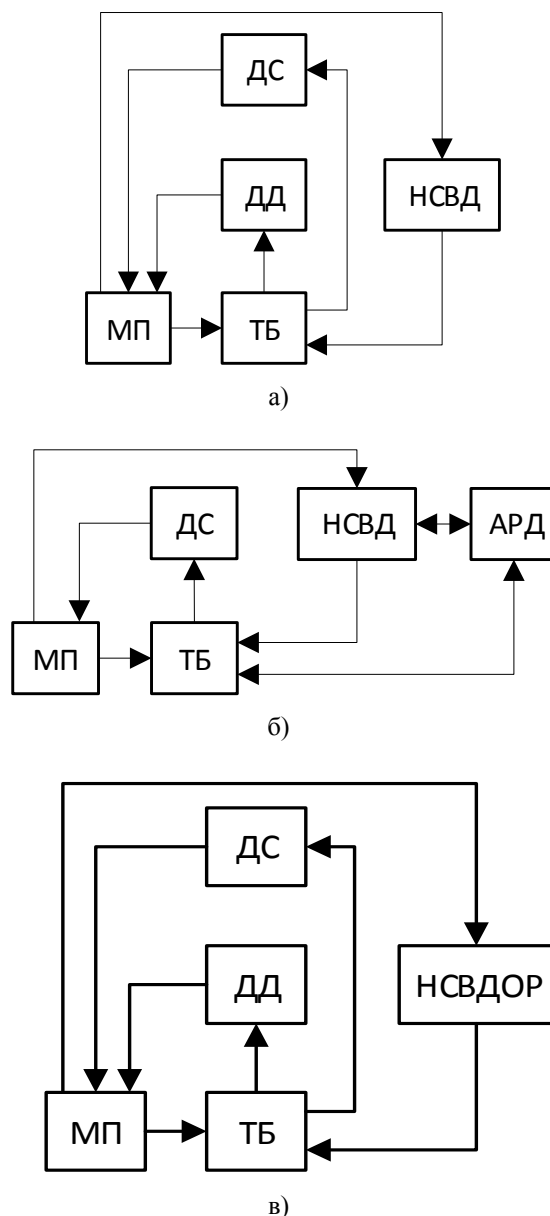


Рис. 1. Структурная схема технологического комплекса для гидропрессовой сборки: а) с регулированием расхода масла скоростью запрессовки; б) с помощью автоматизированного регулятора давления; в) с использованием насоса объемного регулирования
МП – мехатронный пресс, ДС – датчик силы, ДД – датчик давления, ТБ – технологический блок, НСВД – насосная станция высокого давления, НСВДОР – насосная станция высокого давления с объемным регулированием, АРД – автоматизированный регулятор давления

Основной недостаток первого способа управления расходом масла – необходимость применения специализированных технологических комплексов для гидропрессовой сборки, обеспечивающих регулирование основного технологического параметра –

давления масла – в требуемом диапазоне путем изменения скорости запрессовки вала.

Основным недостатком управления расходом рабочей жидкости с помощью автоматизированного регулятора давления является ограниченность объема его рабочей полости, вследствие чего на больших натягах возможно превышение заданного давления масла из-за невозможности отведения требуемого избыточного объема.

Недостатком же объемного регулирования является его низкое быстродействие в случае падения давления ниже заданного, вызванное большим временем выхода на режим (рабочее давление).

Решение данных проблем возможно путем применения регуляторов с большими рабочими объемами либо комбинация данного способа с объемным регулированием, что позволит компенсировать недостатки данных методов управления (рис. 2).

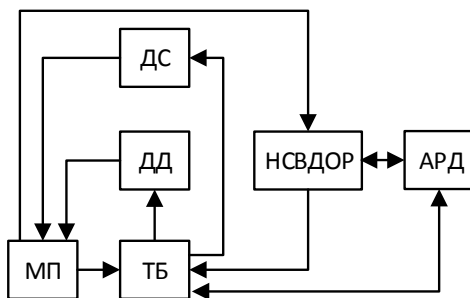


Рис. 2. Структурная схема технологического комплекса для гидропрессовой сборки с комбинированным регулированием

МП – мехатронный пресс, ДД – датчик давления; ДС – датчик силы, ТБ – технологический блок, НСВДОР – насосная станция высокого давления с объемным регулированием, АД – автоматизированный регулятор давления

Наибольший практический интерес представляют следующие способы управления расходом масла: управление скоростью запрессовки и отвод избыточного объема масла с помощью регулятора давления, вследствие того, что не требуют применения дорогостоящих насосных станций высокого давления с объемным регулированием, обеспечивая при этом требуемые режимы сборочного процесса. Кроме того, схема с использованием автоматизированного регулятора давления позволяет производить

сборку соединений с использованием серийных промышленных прессов без их переналадки.

Экспериментальная оценка режимов гидропрессовой сборки при различных способах управления расходом масла

Для сборки использовались образцы соединений «сталь-сталь» с натягом 15 мкм, чертежи которых представлены на рис. 3.

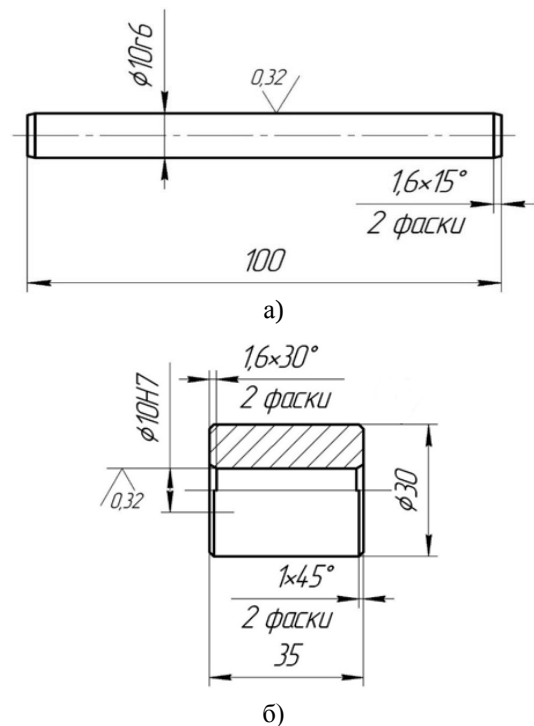


Рис. 3. Конструкция образцов деталей соединения с натягом: а – вал; б – втулка

Материал сопрягаемых деталей:

- вал – сталь 40 ХН (HRC 40...45);
- втулка – сталь 45 (230...260 НВ).

Физико-механические характеристики материалов деталей образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики материалов образцов

Материал	σ_T , МПа	σ_B , МПа	E , МПа $\times 10^5$	μ
сталь 45	450	750	2	0,28
сталь 40ХН	490	850		

Основным показателем качества получаемого соединения является давление масла q . Проведенный анализ процесса гидропрессовой сборки выявил, что при сборке соединений на характер изменения давления масла q основное влияние оказывают ско-

рость сборки и натяг, определяющие величину расхода масла Q_m через зазор.

Максимальная величина давления $q_{\max}$, исходя из условия невозникновения пластических деформаций, составляет:

$$q \leq 0,58\sigma_{\text{стали}} \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right) = 232 \text{ МПа}.$$

Исходя из этого, рабочая величина давления масла $q_{\text{раб}}$ установлена в диапазоне 100-110 МПа, что достаточно для поддержания режима жидкостного трения.

Рассмотрим способы управления расходом масла:

1) путем регулирования скорости запрессовки [7].

При данном способе в систему автоматического управления технологическим комплексом гидропрессовой сборки (САУ ТК ГПС) дополнительно включен нечеткий регулятор давления, осуществляющий поддержание заданного давления масла, что обеспечивает требуемые режимы сборки.

Диаграмма запрессовки управления представлена на рис. 4.

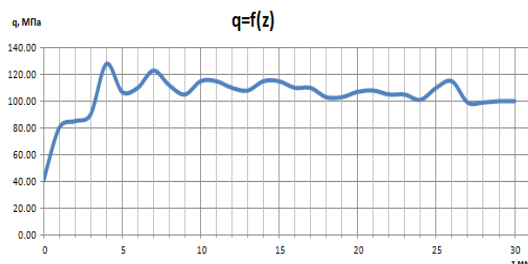


Рис. 4. График зависимости давления масла от длины запрессовки (регулирование расхода скоростью запрессовки)

Рост давления масла в начале процесса сборки обусловлен наличием участка сухого трения на заходной кромке втулки ввиду того, что требуемый для истечения масла зазор только начинает формироваться. На участке полусухого трения давление масла также продолжает расти и при достижении рабочего давления начинает работать регулятор давления. Как следует из диаграммы, в дальнейшем на изменение давления в значительной степени влияет скорость запрессовки. Регулятор на основе нечеткой логики обеспечивает поддержание давления масла близкого к рабочему путем уменьшения или увеличения скорости запрессовки. Скачко-

образное изменение давления масла объясняется инерционностью системы мехатронный пресс–технологический блок.

2) регулирование с использованием автоматизированного регулятора давления масла (отвод избыточного объема масла).

При данном способе управления нечеткий регулятор давления в САУ ТК ГПС не участвует в регулировании давления масла в системе. Возникающий избыточный объем масла отводится путем управляемого дросселирования с помощью автоматизированного регулятора давления масла, параллельно включенного в гидравлическую систему, что позволяет обеспечить требуемое давление масла и сократить время запрессовки. Достоинством данного способа, в отличие от способа управления регулированием скорости запрессовки является отсутствие потребности в специализированных технологических комплексах для гидропрессовой сборки, обеспечивающих регулирование давления масла, что позволяет осуществлять сборку соединений с помощью промышленных прессов, не имеющих контур регулирования по давлению. Основными требованиями к оборудованию являются точность позиционирования и поддержание заданной скорости запрессовки, а также обеспечение требуемого усилия, развиваемого прессом.

Диаграмма запрессовки представлена на рис. 5.

В отличие от первого способа управления скорость запрессовки ниже, что обусловлено особенностями применяемого оборудования (автоматизированного регулятора избыточного объема масла и насосной станции высокого давления), вследствие этого градиент давления масла меньше.

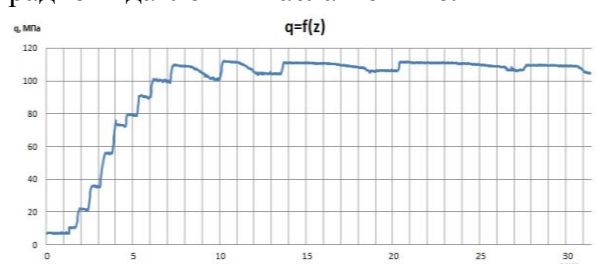


Рис. 5. График зависимости давления масла от длины запрессовки (отвод избыточного объема масла с помощью регулятора давления)

Преимуществом является меньшее перерегулирование по давлению на участке полусухого трения, что позволит при работе при давлениях близких к максимальному $q_{\max}$ не допустить появления пластических деформаций в материале втулке.

Данный способ управления поддерживает давление масла в заданном диапазоне на протяжении всего процесса сборки, тем самым обеспечивает стабильность жидкостного режима трения. Скачкообразное изменение давления масла, как и при регулировании скоростью запрессовки, объясняется инерционностью системы мехатронный пресс–технологический блок.

Выводы

Результаты экспериментальной оценки способов управления расходом масла через зазор: регулирование скоростью запрессовки и с использованием автоматизированного регулятора давления показали их эффективность.

Выявлено, что способ управления скоростью запрессовки позволяет достичь большие скорости запрессовки, однако, способ с использованием автоматизированного регулятора обеспечивает более качественное протекание сборочного процесса на участке полусухого трения и не требует применения специализированных комплексов для гидропрессовой сборки, обеспечивающих поддержание давления масла.

Дальнейшие перспективные направления исследования связаны с апробацией сборки с использованием насосов объемного регулирования, а также схемы комбинированного регулирования. Указанные схемы позволят обеспечить повышение производительности сборочного процесса без потери качества получаемых соединений.

Список литературы

1. Абрамов И.В. Исследование и совершенствование гидропрессового метода сборки соединений с натягом: автореф. дис. канд. техн. наук. – Пермь, 1970. – 20 с.

2. Глухова К.А. Исследование технологических параметров гидропрессовой сборки соединений с натягом при повышенных скоростях формирования: автореф. дис. канд. техн. наук. – Кишинев, 1975. – 28 с.
3. Гречищев Е.С. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление / Е.С. Гречищев, А.А. Ильяшенко. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
4. Щенятский А.В. Теория и технология гидропрессовых соединений: монография / А.В. Щенятский, И.В. Абрамов, К.А. Глухова и др. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012. – 496 с. : ил.
5. Федоров Б.Ф. Рациональный способ распрессовки и запрессовки деталей / Б.Ф. Федоров. – М.; Свердловск: Машгиз, Урал. – Сиб. отд-ние, 1955. – 68 с.
6. Абрамов И.В. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И.В. Абрамов, Ф.Ф. Фаттиев, В.А. Дулотин [и др.]. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. 300 с.
7. Романов А.В. Автоматизация гидропрессовой сборки соединений с натягом с использованием мехатронного пресса: автореф. дис. канд. техн. наук. – Ижевск, 2018. – 22 с.

References

1. Abramov I.V. Research and improvement of the hydropress method for assembling of interference fits: diss. of the cand. of technical sciences abstract. – Perm, 1970. – 20 p.
2. Glukhova K.A. Investigation of technological parameters of hydropress assembling of joints with tightness at increased formation rates: diss. of the cand. of technical sciences abstract. – Kishinev, 1975. – 28 p.
3. Grechishchev E.S. Tight connections: Calculations, design, manufacturing / E.S. Grechishchev, A.A. Il'iashenko. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 247 p.
4. Shchenyatsky A.V. Theory and technology of hydropress joints: monograph / A.V. Shchenyatsky, I.V. Abramov, K.A. Glukhova i dr. – Izhevsk: IzhGTU pub., 2012. – 496 p.
5. Fedorov B.F. A rational way to decompress and press parts / B.F. Fedorov. – M.; Sverdlovsk: Mashgiz, Ural. – Sib. dep., 1955. – 68 p.
6. Abramov I.V. High-tension connections with guaranteed tightness / I.V. Abramov, F.F. Fattiev, V.A. Dulotin. Izhevsk: IzhGTU pub., 2002. 300 p.
7. Romanov A.V. Automation of hydropress assembly of tight joints using a mechatronic press: diss. of the cand. of technical sciences abstract. – Izhevsk, 2018. – 22 p.

УДК 656.135

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОПЕРЕВОЗОК

В.П. Долгин¹, П.К. Сопин¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена задача минимизации стоимости автоперевозок. Составной задачей является идентификация параметров математической модели, описывающей характеристики автомобильного двигателя. Для математического описания их характеристик используются полиномиальные функции Лейдермана. Представлена методика оценки параметров внешней скоростной характеристики и коэффициентов Лейдермана. Предложен алгоритм получения искомых параметров эффективного крутящего момента с помощью математического пакета прикладных программ Maple. С помощью метода наименьших квадратов получена приближающая функция эффективного крутящего момента, исследована на экстремум и определены коэффициенты Лейдермана. Оценены коэффициенты функции расхода топлива. Предложен метод учета влияния дрейфа параметров, которые меняются в процессе эксплуатации. Представлена методика оптимизации скоростного режима перевозки. В состав рассмотренной задачи входит определение оптимального скоростного режима автомобиля на основе процедуры минимизации целевой функции.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, двигатель, внешняя скоростная характеристика.

OPTIMIZATION OF TRANSPORTATIONS

V.P. Dolgin¹, P.K. Sopin¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The task of minimization of cost of auto transportations is considered. A component task is authentication of parameters of mathematical model, describing description of motor-car engine. For mathematical description of their descriptions the polynomials Lederman's functions are used. The method of estimation of parameters of external speed description Lederman's coefficients is presented. The algorithm of receipt of the parameters of effective twisting moment sought after by the mathematical Maple application package is offered. By a least-squares method the approaching function of effective twisting moment is got, is explored on extreme and the Lederman's coefficients are definite. The coefficients of function of expense of fuel are appraised. The method of consideration of influencing of drift of parameters which change in the process of exploitation is offered. It is presented optimization's method of the speed mode of transportation. Determination of the optimum speed mode of car on the basis of minimization procedure of function having a special purpose enters in the complement of the considered task.

Keywords: least squares method, motor, external speed characteristic.

Введение

Скоростные характеристики поршневого двигателя внутреннего сгорания (ДВС) могут быть построены аналитически по функциям С. Р. Лейдермана [1 – 4]. Аналитическая модель Лейдермана не учитывает конструктивных особенностей конкретной модификации двигателя, влияния воздействия

окружающей среды и других факторов, являющихся следствием эксплуатации транспортного средства (пробега, качества топлива и прочих).

Постановка задачи

По результатам стендовых испытаний необходимо уточнить параметры функций Лейдермана, позволяющих построить внеш-

нюю скоростную характеристику поршневого двигателя, которая основана на аналитической зависимости эффективной мощности

$$N_e = N_m \left(A n/n_e + B (n/n_e)^2 - C (n/n_e)^3 \right), \quad (1)$$

где n - текущее значение частоты вращения коленчатого вала, об/мин;

n_e - частота вращения, соответствующая максимальной мощности, об/мин;

N_e - текущее значение эффективной мощности двигателя, кВт;

N_m - максимальное значение эффективной мощности двигателя, кВт;

характеристики эффективного крутящего момента

$$M_e = M_k \left(A + B n/n_e - C (n/n_e)^2 \right), \quad (2)$$

где M_e - текущее значение крутящего момента, Н·м; $M_k = K_m N_m$ - значение крутящего момента при значении частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующего максимальной мощности двигателя N_m , Н·м; K_m - масштабный коэффициент; $K_m = 3 \cdot 10^4 / n_e \pi$;

характеристики эффективного расхода топлива

$$G_e = G_m \left(A_1 - B_1 n/n_e + C_1 (n/n_e)^2 \right), \quad (3)$$

где G_e - текущий удельный расход топлива, г/кВт·ч;

G_m - удельный расход топлива при максимальной мощности, г/кВт·ч;

$$G_t = 10^{-3} G_e N_e, \quad (4)$$

кривой среднего эффективного давления

$$P_e = 30 N_e T / V_c n, \quad (5)$$

где V_c - объем двигателя, л; T - тактность двигателя.

Помимо указанных есть и другие характеристики, получаемые расчетным путем [5 – 9] на основании описаний (1) - (5).

Для представления экспериментальных данных в форме функций Лейдермана необходима процедура уточнения параметров функций Лейдермана по результатам испытаний ДВС.

Решение задачи

Параметрами, которые необходимо оценить при обработке результатов испытаний, являются коэффициенты функций Лейдермана и экстремальные значения характеристик: эффективной мощности N_m , крутящего момента M_m , коэффициент приспособляемости двигателя $K_z = M_m / M_n$, где M_n - крутящий момент на частоте вращения, соответствующей максимальной мощности, и расхода топлива $G_{\min}$. Проведем анализ характеристик (1) – (3).

Для упрощения анализа преобразуем характеристики (1) – (3), сведя к безразмерной форме

$$F_n = N_e / N_m; F_m = M_e / M_k; F_g = G_e / G_m; \\ x = n/n_e. \quad (6)$$

Функции (6) испытывают экстремум [5, 10 – 13], значение которого можно определить в результате аналитического исследования. Взяв производные этих функций и приравняв их нулю, получим

$$A + 2B - 3Cx^2 = 0; B - 2Cx = 0; B_1 - 2C_1x = 0 \quad (7)$$

Решив каждое из уравнений (7), найдем абсциссу и ординату экстремума:

$x_n = B + \sqrt{B^2 + 3AC} / 3C$ - абсцисса максимума функции F_n ;

$F_{n\max} = x_n (2A + x_n B) / 3$ - значение максимума функции F_n ;

$x_m = B / 2C$ - абсцисса максимума функции F_m ;

$F_{m\max} = A + x_m B / 2$ - значение максимума функции F_m ;

$x_g = B_1 / 2C_1$ - абсцисса минимума функции F_g ;

$F_{g\min} = A_1 + x_m B_1 / 2$ - значение минимума функции F_g .

Для получения рассматриваемых характеристик необходимо вычислить коэффициенты Лейдермана, минимальный эффектив-

ный расход топлива $G_{\min}$, максимальный эффективный крутящий момент M_m и максимальную эффективную мощность N_m , которые связаны соотношением

$$M_m = 3 \cdot 10^4 N_m / n_m \pi \quad (8)$$

В качестве примера на рис. 1 изображены функции (6) для ДВС с непосредственным впрыском, где масштабным коэффициентом является n_e по оси абсцисс x . По оси ординат F масштабными коэффициентами служат G_m для характеристики эффективного расхода топлива, N_m для характеристики эффективной мощности, M_k для характеристики эффективного крутящего момента.

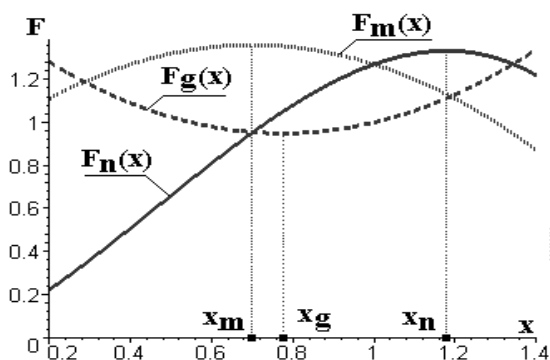


Рис. 1. Графики нормированной внешней скоростной характеристики

Получаемые в процессе стендовых испытаний данные содержат случайную погрешность, величина которой зависит от класса точности измерительного средства. Для снижения влияния случайной погрешности можно применить процедуру аппроксимации. Одной из наиболее удобных является аппроксимация методом наименьших квадратов (МНК), суть которой состоит в том, что по каждому из параметров находится минимум квадрата отклонения приближающей функции для всех точек измерения [4 – 6]. Решение полученной таким образом системы уравнений, число которых равно числу искомых параметров, позволяет найти их значения.

Описание изменения множества функций $F = \{F_n(x), F_m(x), F_g(x)\}$ вблизи точек экстремума получим для каждой составля-

ющей внешней скоростной характеристики ДВС

$$D_n = F_{n \max} - F_n;$$

$$D_m = F_{m \max} - F_m;$$

$$D_g = F_g - F_{g \min}.$$

На рис. 2 изображены графики изменения функций множества F составляющих внешней скоростной характеристики ДВС в окрестности точки экстремума характеристики эффективного расхода топлива D_g для эффективной мощности D_n и эффективного крутящего момента D_m при изменениях режима работы двигателя. На рисунке нанесена линия $q = 0,1$ соответствующая 10% изменения. Точечной штриховкой выделена область, ограниченная допустимым изменением расхода топлива, что позволяет оценить изменение силовых параметров двигателя при наложенных ограничениях по допустимому уровню q расхода топлива.

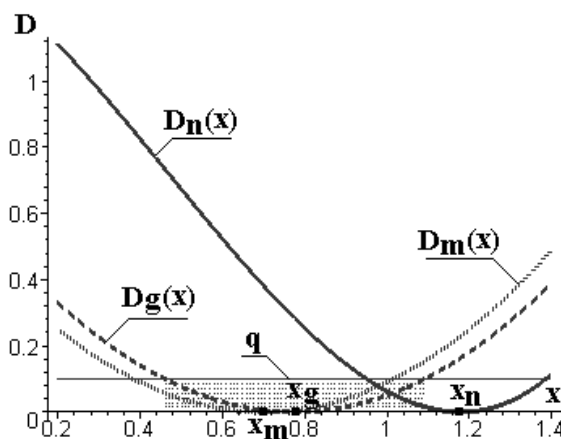


Рис. 2. Относительное превышение расхода топлива

Проведенный анализ позволяет предложить версию процедуры идентификации функций Лейдермана.

Реализация методики

По результатам испытаний требуется найти параметры внешней скоростной характеристики $G_{\min}, G_m, M_m, N_m$ и коэффициенты Лейдермана. Ввиду их функциональной взаимосвязи получение искомых параметров удобно производить в следующем порядке:

- с помощью метода наименьших квадратов (МНК) найти приближающую функцию эффективного крутящего момента,
- исследовать ее на экстремум и получить значения M_m ; N_m и G_m ,
- вычислить коэффициенты A, B, C .

Коэффициенты функции расхода топлива $A_1; B_1; C_1$ могут быть найдены в аналогичной последовательности по таблице данных расхода:

- методом наименьших квадратов найти приближающую функцию эффективного расхода топлива,
- исследовать ее на экстремум и получить значение $G_{\min}$,
- вычислить коэффициенты $A_1; B_1; C_1$.

Процедура МНК приближения

Рассмотрим методику МНК приближения характеристики эффективного крутящего момента M_e с помощью математического пакета прикладных программ Maple. По таблице 1 измерений значений характеристики эффективного крутящего момента $Y(x) = M_e(x)$

Таблица 1 Таблица значений функции $Y(x)$

Результаты измерений	$Y(x)$	$Y(x_1)$	$Y(x_2)$	$\dots$	$Y(x_m)$
	x	x_1	x_2	$\dots$	x_m
Приближающая функция	$y(x)$	$y(x_1)$	$y(x_2)$	$\dots$	$y(x_m)$

сформируем множество ординат, множество абсцисс и применим пакет Maple – программ *fit* для приближающей полиномиальной функции $y(x)$ n -го порядка

$$y(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i, \text{ обозначив её через } W = y(x) \text{ и}$$

приняв $n = 2$, для заданного числа измерений m .

Процедура МНК приближения
 $W := \text{sum}(a[j] * x^j, j=0..n);$
 # Приближающий полином
 $Sy := [\text{seq}(Y[i], i=1..m)];$
 # Множество ординат

$Sx := [\text{seq}(X[i], i=1..m)];$
 # Множество абсцисс
 $MNK := \text{fit}[\text{leastsquare}[[x, y], y=W]]([Sx, Sy]);$
 $Rez := \text{evalf}[3](MNK);$
 # Результат приближения
 $\text{assign}(Rez);$
 # Присвоение значений
 В результате решения будут получены значения коэффициентов $a_0; a_1; a_2$ приближающей функции $y(x)$, которая будет определена в диапазоне значений $[x_1, x_m]$.

Определение максимального крутящего момента

Следующий этап состоит в определении максимального значения эффективного крутящего момента M_m , который является максимумом приближающей функции $y(x)$ и может быть определен с помощью оператора *maximize* в формате $M_m := \text{maximize}(y, x = 0..x_0);$ где $x_0 = n_0/n_e$, n_0 – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя.

Положение точки максимума x_m можно найти в результате решения уравнения $y(x) = M_m$ относительно переменной x $\text{max}(\text{solve}(y = M_m, x));$ либо вычислить по формуле $x_m = B/2C$, полученной в результате предыдущего анализа.

Вычисление коэффициентов функции Лейдермана

Зная значения коэффициентов $a_0; a_1; a_2$ приближающей функции $y(x)$, можно определить коэффициенты Лейдермана

$$A = a_0/a_2; B = a_1/a_2; C = a_2/a_2 = 1.$$

Имитационная модель

Проверка корректности изложенной методики реализована с помощью процедуры имитационного моделирования. Для ДВС с непосредственным впрыском (табл. 1) при значении $M_k = 10^3$ сформирована таблица 2, где $Y(x_j) = M_k(F_m(x_j) + \xi_j)$, ξ_j – случайная

погрешность ($j = [1 \Lambda m]$) равномерно распределенная в интервале $\pm E$, $E = 10^{-2}$ – погрешность измерений, при $m = 20$, в заданном диапазоне относительных частот вращения $x = [x_j \Lambda x_0]$, x_j – относительная частота вращения режима холостого хода, x_0 – максимальная относительная частота вращения коленчатого вала двигателя. Среди основных параметров вычислен коэффициент приспособляемости двигателя $K_z = M_m/M_n$.

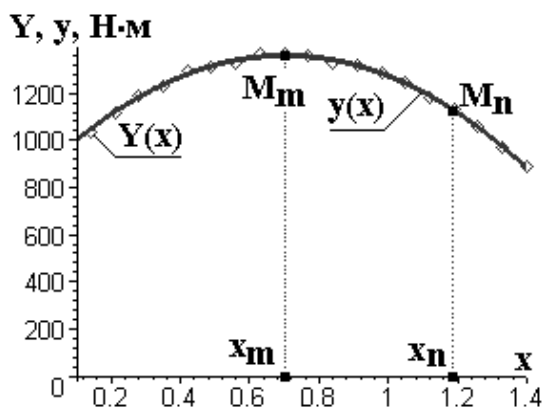


Рис. 3. Результат приближения

На рис. 3 изображена приближаемая $Y(x)$ и приближающая $y(x)$ функции, нанесено значение максимального вращающего момента M_m и момента при максимальной мощности M_n . На рис. 4 изображена кривая погрешности приближения в заданном диапазоне относительных частот вращения $[x_j \Lambda x_0]$ коленчатого вала двигателя.

Величина максимальной относительной погрешности приближения составила 1.1% при погрешности измерений эффективного момента вращения коленчатого вала двигателя 1%.

Рассчитаны основные параметры модели:

$$M_m = 1359.9 \setminus 1360; M_n = 1129.95 \setminus 1130.31;$$

$$M_k = 983.81 \setminus 1000;$$

$$K_z = 1.2035 \setminus 1.2032; x_m = 0.703 \setminus 0.7;$$

$$x_n = 1.1869 \setminus 1.1793;$$

$$A = 0.617 \setminus 0.6; B = 1.412 \setminus 1.40; C = 1.0 \setminus 1.0;$$

$$A1 = 1.18 \setminus 1.2;$$

$$B1 = 1.193 \setminus 1.2; C1 = 1.0 \setminus 1.0.$$

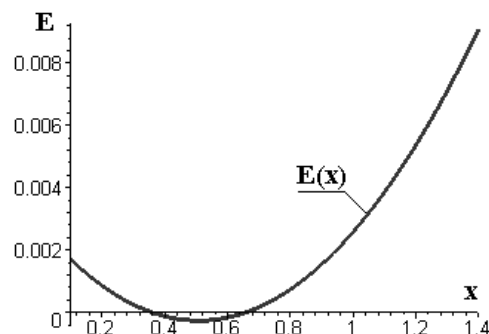


Рис. 4 – График погрешности МНК аппроксимации

В указанных значениях параметров через косую черту приведены ожидаемые (теоретические) значения.

Замечание

Необходимо отметить, что существует возможность повышения качества модели, так как с увеличением числа измерений погрешность приближения и результатов вычисления параметров снижается [9 – 11].

Оптимизация скоростного режима

Транспортные затраты складываются из стоимости топлива ct и аренды cx транспортного средства. Сумма затрат на топливо зависит от величины его расхода, который является функцией режима эксплуатации транспортного средства.

Относительный расход топлива определяется характеристикой удельного расхода топлива $Fg(x)$ и развиваемой мощности $Fn(x)$. Функцию эксплуатационных затрат $Ft(x)$, определяемую расходом топлива, можно представить в виде $Ft(x) = Fg(x)Fn(x)$.

Функция затрат на обслуживание представляет собой время, необходимое для выполнения заявки на обслуживание (время аренды транспортного средства), и может быть выражена как $Fx(x) = 1/x$.

С учетом стоимости топлива и аренды транспортного средства функция цели может быть представлена в виде $S(x) = ctFt(x) + cxFx(t)$.

Задача

Минимизировать целевую функцию $S(x)$ для заданных параметров ДВС, стоимости затрат на обслуживание и аренду транспортного средства. Определить оптимальный скоростной режим транспортного средства.

Решение

Описание целевой функции.
 $S(x) = (ct + (A1 + x(B1 - xC1))x(A + x(B + xC))) / x$
 # Процедура оптимизации
 $S := ct * Ft + cx * Fx;$ #
 Целевая функция $S(x)$
 $S := \text{evalf}[3](\text{convert}(S, \text{horner}, x));$
 # Горнер-представление $S(x)$
 $S_{\min} := \text{minimize}(S, x=0..x2, \text{location});$
 # Процедура минимизации
 $\text{assign}(S_{\min}[2][1][1]);$
 # Координата минимума x
 $x_0 := \text{evalf}[3](x);$
 # Сохранение значение x
 $S_{\min} := \text{evalf}[3](S_{\min}[1]);$
 # Значение минимума

При $ct = 0,85$ и $cx = 1,1$ после выполнения процедуры получим значение $x_0 = 0,53$ и ординаты $S_{\min} = 3,21$ точки экстремума, показанные на рис. 5.

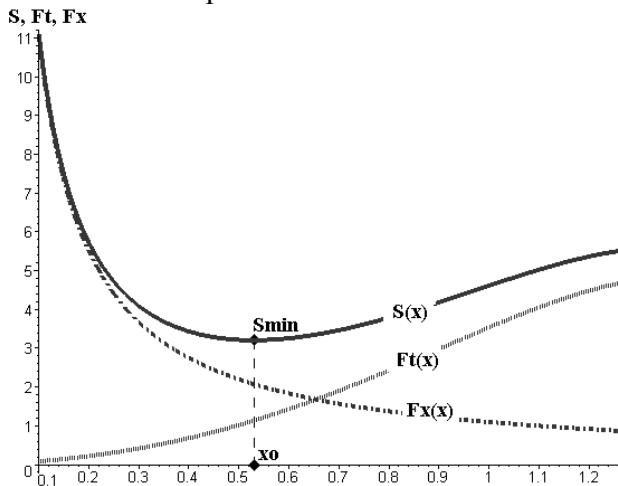


Рис. 5. График целевой функции

Выводы

Минимум целевой функции $S_{\min} := 3,21$ соответствует относительной частоте вращения вала ДВС $x_0 := 0,530$. Предложенная методика позволяет учесть

дрейф параметров при оптимизации транспортных перевозок.

Список литературы

1. Лейдерман С. Р. Эксплуатация грузовых автомобилей: Техничко-экономические основы. — М.: Транспорт, 1966.
2. Колчин А.И., В.П. Демидов Расчет автомобильных и тракторных двигателей. — М.: Высш. шк., 2002. — 496 с.
3. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учебное пособие. — М: ФОРУМ, 2011. — 208 с.
4. Долгин И.В. Моделирование процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2013.
5. Долгин В.П., Богомольный Б.С. Процедура локализации максимума функции эффективной мощности поршневых ДВС // Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта: материалы междунар. науч. - техн. конф., Севастополь, 17–19 апреля 2012 г. — Севастополь, 2012. — С. 63 – 64.
6. Долгин В.П., Гавран Е.И. Процедура поиска минимума функции удельного расхода топлива поршневых ДВС // Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта: материалы междунар. науч. - техн. конф., Севастополь, 17–19 апреля 2012 г. — Севастополь, 2012. — С. 64 – 67.
7. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.И. Орлина, М.Т. Круглова. — М: Машиностроение, 2003. — 372 с.
8. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-I4 / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; под общ. ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. — М.: Машиностроение, 2013. — 784 с.
9. Костоготов А.А., В.В. Дерюшев, Костоготов А.И. Идентификация параметров динамических систем на основе объединенного принципа максимума // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. — 2004. — №2. — С. 13-18.
10. Дерюшев В.В., Бобыльченко В.Ю. Аппроксимация скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания // Научное обозрение. — 2014. — №11-3. — С. 773-774.
11. Сидоров В.Н., О.А. Царёв, С.А. Голубина Расчет внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — №1-1. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/viewid=18652> (дата обращения: 30.04.2018).
12. Яхьяев Н.Я., Магомедов М.М. Основы теории надёжности автомобилей и техническая диагно-

стика: учебное пособие. - Махачкала: МАДИ, 2006. - 134 с.

13. Долгин В.П., Харченко А.О. Надежность технических систем: Учеб. пособие. - М: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017.
14. Долгин И.В. Динамическое моделирование и оптимизация. Монография / И.В. Долгин; под ред. В.П. Долгина – Palmarium Academic Publishing, 2019. – 402 с.
15. Долгин И.В. Методы оптимизации процессов и систем. Монография / И.В. Долгин; под ред. В.П. Долгина – Palmarium Academic Publishing, 2018. – 223 с.

References

1. Lejderman S. R. Jekspluatacija gruzovyh avtomobilej: Tehniko-jekonomicheskie osnovy. - M.: Transport, 1966.
2. Kolchin A.I., V.P. Demidov Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej. - M.: Vyssh. shk., 2002. - 496 s.
3. Kuz'min, N.A. Tehnicheskaja jekspluatacija avtomobilej: zakonomernosti izmenenija rabotosposobnosti: uchebnoe posobie. - M: FORUM, 2011. - 208 s.
4. Dolgin I.V. Modelirovanie processov porshnevnyh dvigatelej vnutrennego sgoranija. Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing, 2013. - 120 s.
5. Dolgin V.P., Bogomol'nyj B.S. Procedura lokalizacii maksimuma funkcii jeffektivnoj moshhnosti porshnevnyh DVS // Progressivnye napravlenija razvitija mashino-priborostroitel'nyh otraslej i transporta: materialy mezhdunar. nauch. -tehn. konf., Sevastopol', 17-19 aprelja 2012 g. - Sevastopol', 2012. - S. 63 - 64.
6. Dolgin V.P., Gavran E.I. Procedura poiska minimuma funkcii udel'nogo rashoda topliva porshnevnyh DVS // Progressivnye napravlenija razvitija mashino-priborostroitel'nyh otraslej i transporta: materialy mezhdunar. nauch. -tehn. konf., Sevastopol', 17-19 aprelja 2012 g. - Sevastopol', 2012. - S. 64 - 67.
7. Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej / Pod red. A.I. Orlina, M.T. Kruglova. - M: Mashinostroenie, 2003. - 372 s.
8. Dvigateli vnutrennego sgoranija. T. IV-IV / L.V. Grehov, N.A. Ivashhenko, V.A. Markov i dr.; pod obshh. red. A.A. Aleksandrova, N.A. Ivashhenko. - M.: Mashinostroenie, 2013. - 784 s.
9. Kostoglotov A.A., V.V. Derjushev, Kostoglotov A.I. Identifikacija parametrov dinamicheskikh sistem na osnove ob#edinennogo principa maksimuma // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. - 2004. - №2. - S. 13-18.
10. Derjushev V.V., Bobyl'chenko V.Ju. Approksimacija skorostnyh harakteristik dvigatelej vnutrennego sgoranija // Nauchnoe obozrenie. - 2014. - №11-3. - S. 773-774.
11. Sidorov V.N., O.A. Carjov, S.A. Golubina Raschet vneshnej skorostnoj harakteristiki dvigatelja vnutrennego sgoranija [Elektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. - 2015. - №1-1. - Rezhim dostupa: <http://www.science-education.ru/ru/article/viewid=18652> (data obrashhenija: 30.04.2018).
12. Jah'jaev N.Ja., Magomedov M.M. Osnovy teorii nadjozhnosti avtomobilej i tehniceskaja diagnostika: uchebnoe posobie. - Mhachkala: MADI, 2006. - 134 s.
13. Dolgin V.P., Harchenko A.O. Nadezhnost' tehniceskikh sistem: Ucheb. posobie. - M: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2017.
14. Dolgin I.V. Dinamicheskoe modelirovanie i optimizacija. Monografija / I.V. Dolgin; pod red. V.P. Dolgina – Palmarium Academic Publishing, 2019. - 402 s.
15. Dolgin I.V. Metody optimizacii processov i sistem. Monografija / I.V. Dolgin; pod red. V.P. Dolgina – Palmarium Academic Publishing, 2018. - 223 s.

УДК 621.923.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Е.А. Левченко¹, Д.А. Саса¹¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены особенности моделирования тепловых явлений при алмазно-абразивной обработке деталей. Проведен анализ температурного поля при плоском шлифовании периферией круга. Представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию режимов обработки на изменение временных температурных напряжений в поверхностном слое и на глубине обработанных деталей. Установлен характер кинетики формирования термомеханического состояния поверхностного слоя при обработке шлифованием.

Ключевые слова: шлифование, качество поверхностного слоя, структурные изменения, температурные напряжения, термомеханическое состояние, температурное поле.

RESEARCH OF THERMAL PHENOMENA IN DIAMOND-ABRASIVE WORKING

E. A. Levchenko¹, D. A. Sasa¹¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

The features of modeling thermal phenomena in the diamond-abrasive machining of parts are considered. The analysis of the temperature field for flat grinding the periphery of the circle. The results of experimental studies on the effect of processing modes on the change in temporal temperature stresses in the surface layer and at the depth of the machined parts are presented. The nature of the kinetics of the formation of the thermomechanical state of the surface layer during grinding treatment is established.

Keywords: grinding, quality of the surface layer, structural changes, temperature stresses, thermomechanical state, temperature field.

Развитие современного производства ставит задачи повышения производительности труда и качества изделий в различных отраслях промышленности. Процессы обработки деталей машин, как правило, включают в качестве отделочной операции абразивную и упрочняющую обработки, позволяющие обеспечить требуемые точность и качество деталей при высокой производительности, а также высокую надежность и долговечность машин в процессе эксплуатации. Следовательно, объем и роль этих операций в современном машиностроении непрерывно возрастают. Анализ производства деталей машин различных отраслей машиностроения показал, что различ-

ным видам отделочной обработки подвергаются 85-95% выпускаемых деталей, при этом трудоемкость этих операций составляет 10-20% общей трудоемкости изготовления деталей [1].

Отличительной особенностью операции шлифования является выделение большого количества теплоты, основная часть которой воспринимается обрабатываемой деталью и вызывает на отдельных ее участках структурные изменения – прижоги. Эти дефекты способствуют уменьшению исходной твердости поверхности, образованию растягивающих остаточных напряжений, снижают контактную выносливость, усталостную прочность деталей.

Для большой группы металлов и сплавов, не подверженных структурным превращениям в процессе обработки их шлифованием, характерным видом брака являются дефекты типа трещин, существенно снижающие эксплуатационные свойства изделий.

Характер и интенсивность трещинообразования во многом определяется теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов, их структурой, наследственностью от предыдущих технологических операций, режимами шлифования, а также характеристиками применяемых кругов. При эксплуатации деталей, поверхностный слой которых содержит шлифовочные трещины, разрушение изделий происходит по местам их скопления.

Шлифовочные дефекты (рис.1) на обработанных поверхностях деталей резко снижают (иногда до 30 раз) их эксплуатационные показатели и являются недопустимыми.

Поэтому задача определения технологических условий бездефектного шлифования и управления качеством поверхностного слоя изделий из материалов, склонных к трещино- и сколообразованию, является весьма актуальной. Это предопределяет необходимость изучения механизма формирования шлифовочных дефектов.

Качество поверхностного слоя формируется под действием термомеханических явлений, сопровождающих финишные операции. Поэтому в качестве основного показателя физико-механического состояния обрабатываемых поверхностей используется теплонапряженность алмазно-абразивной обработки.

В зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью возникают температуры, иногда превышающие критические точки структурных превращений. Несмотря на кратковременность нагрева, в поверхностных слоях деталей возникают структурные и фазовые изменения [2].

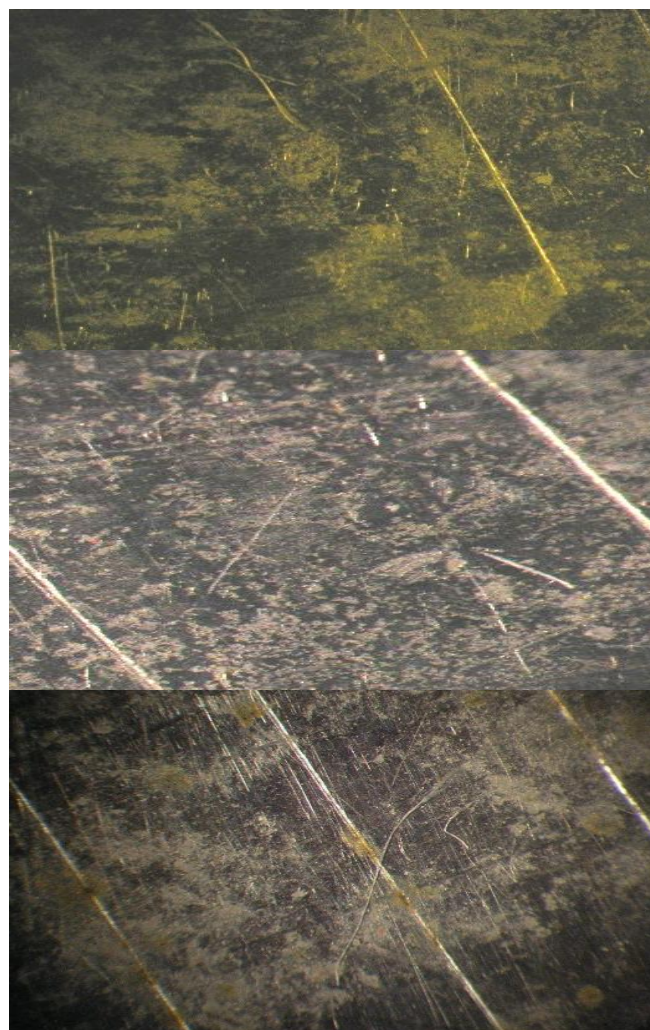


Рис. 1. Шлифовочные дефекты на поверхности обработанных деталей (сталь 40)

Область, в которой протекают термомеханические процессы от высоких температур, выделяемых при шлифовании, можно разделить на три характерные зоны (рис. 2): 1 – незначительного повышения температуры перед приближающимся тепловым источником; 2 – интенсивного тепловыделения тепла под источником; 3 – интенсивного охлаждения после прохождения теплового источника [3].

Такое деление металла на зоны позволяет рассмотреть кинетику протекания термомеханических процессов в поверхностном слое шлифуемой детали.

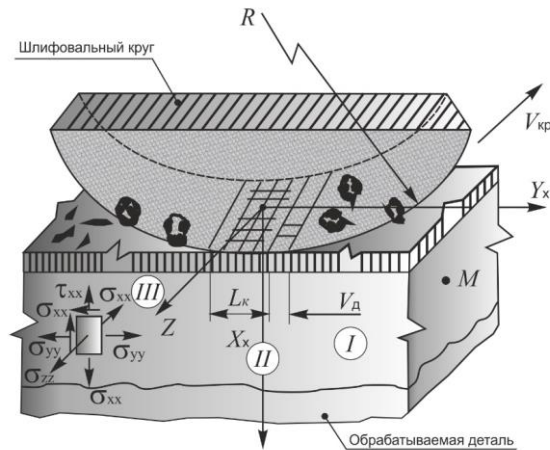


Рис. 2. Кинетика формирования термомеханического состояния поверхностного слоя при обработке шлифованием: 1 – зона предварительного разогрева; 2 – зона интенсивного тепловыделения; 3 – зона интенсивного охлаждения

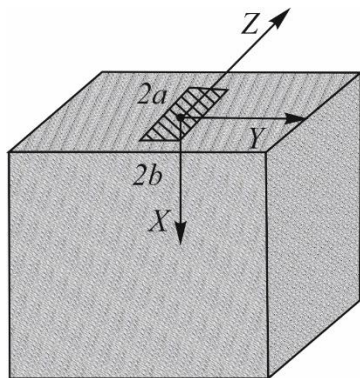


Рис. 2. Кинетика формирования термомеханического состояния поверхностного слоя при обработке шлифованием: 1 – зона предварительного разогрева; 2 – зона интенсивного тепловыделения; 3 – зона интенсивного охлаждения

Поверхностные слои материала первой зоны нагреваются до температуры порядка $200 - 500^{\circ}\text{C}$. При этих температурах структурных и фазовых превращений не происходит, но материал подвергается ответному расширению, повышается подвижность дислокаций, способствующих разрыхлению материала. Возникающие в этой зоне (рис. 4, заштрихованная область) снижения напряжения относятся к упруго-пластическому типу [7-12].

Вторая зона подвергается сплошному силовому и термическому воздействию. От термомеханического удара материал в этой зоне подвергается не только структурным и фазовым превращениям, но и ответному

расширению от высоких температур порядка $800 - 1100^{\circ}\text{C}$. В поверхностном слое формируются сжимающие напряжения, а в глубинных слоях – растягивающие.

В третьей зоне за счет теплопроводности происходит быстрый отвод тепла с поверхности в глубинные слои детали и поглощение тепла смазочноохлаждающей жидкостью. Вследствие быстрого охлаждения внешней поверхности слой стремится сжаться, но этому сжатию препятствуют глубинные поверхностные слои, имеющие в данный момент более высокую температуру (рис. 2) [4-6]. При этих условиях в поверхностном слое возникают большие временные и растягивающие напряжения, переходящие в глубинных слоях на сжимающие (рис. 4). Для прогнозирования физико-механических свойств поверхностных слоев материала деталей и управления ими в процессе шлифования необходимо знать функциональные связи этих параметров с термическими процессами, протекающими в зоне шлифования.

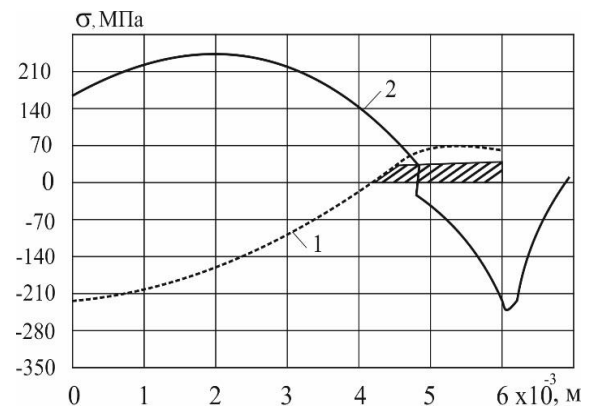


Рис. 4. Изменение временных температурных напряжений в поверхностном слое (1) и на глубине (2) температурного поля, как в изделии, так и в инструменте

Нагрев поверхностных слоев шлифуемых деталей производится на глубину $1,2 - 1,5$ мм. Поэтому большинство деталей можно считать полубесконечными телами в трехмерном пространстве или полуплоскостью в двумерной постановке задачи. Граничные условия задают только на одной границе шлифуемой поверхности.

Зона контакта шлифовального круга с деталью представляет собой бесконечно

длинный полосовой источник теплоты постоянной интенсивности, шириной $2h$, движущийся в положительном направлении оси Z со скоростью $V_{кр.}$ (рис. 3).

Температура охлаждающей жидкости и начальная температура изделия равны нулю. Система координат связана с источником теплоты. Согласно принятой схеме, формулировка тепловой задачи сводится к решению уравнения теплопроводности [1-3]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + V_{кр.} \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности; $V_{кр.}$ – скорость вращения шлифовального круга.

Со смешанными граничными условиями

$$-\lambda \left[\frac{\partial T(o, y, z, t)}{\partial x} \right] - \alpha T(o, y, z, t) = 0, |y| \geq h; \quad (2)$$

$$-\lambda \left[\frac{\partial T(o, y, z, t)}{\partial x} \right] = q = const; |y| \leq h, \quad (3)$$

где q – общая плотность теплового потока в зоне обработки.

С нулевыми начальными условиями

$$T(x, t, z, 0) = 0. \quad (4)$$

Решение задачи (1 - 4) сводится к отысканию функции Грина для уравнения теплопроводности с точечным источником на поверхности изделия и последующей реализации граничных и начальных условий.

$$dT = \frac{2dy'dz'dt'}{cy[4\pi a(t-t')]^{3/2}} \left\{ \exp \left[-\frac{x^2 + (y-y')^2 + [(z-z')^2 + v(t-t')]^{3/2}}{4a(\tau-\tau')} \right] - \frac{\alpha}{\lambda} \int_0^\infty \exp \left[-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + [(z-z')^2]}{4a(\tau-\tau')} \right] - \left(\frac{\alpha}{\lambda} \right) x' dx' \right\} \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотвода;

λ – коэффициент теплопроводности.

Приведенное выражение описывает процесс выравнивания температуры от элементарного источника теплоты, выделяемой на бесконечно малой площадке в бесконечно малый промежуток времени при постоянной плотности теплового потока. Все температурное поле будет равно сумме таких полей от элементарных источников, распределенных по полосе зоны контакта.

Список литературы

1. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
2. Якимов А.В. Основы тепловых явлений при шлифовании деталей машин / А.В. Якимов [и др.]. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.
3. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К.: Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.
4. Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В. Стратегия управления операцией шлифования в автоматизированном производстве // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Меж.нар.сб.науч. тр. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып.9. – С. 116–122.
5. Новоселов Ю.К., Братан С.М., Каинов Д.А. Влияние состояния рабочей поверхности инструмента на оценку параметров формирующего фильтра // Резание и инструмент в технологических системах. – Меж.нар.науч.тех.сб. – Харьков: ХГПУ, 2002. – Вып.62. – С. 84–88.
6. Грабовый В.М. Повышение эффективности операций шлифования в автоматизированном производстве за счет коррекции цикла за период стойкости инструмента: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.13.07/. – Севастополь: СевНТУ, 1996. – 18с.
7. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 232 с.
8. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. М.: Мир, 1971. – 398 с.
9. Маслов Е.И. Теория шлифования материалов / Е.И. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
10. Борисов В.А. и др. Резка железобетонных труб абразивными кругами./ В.А. Борисов — Науч.-техн.реф. сб. «Абразивы». — 1976, № 11.
11. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Саратов. : изд-во Сарат. ун-та, 1979. — 232 с.
12. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании. / Д.Б. Ваксер — М.: Машиностроение, — 1964. — С.124.

References

1. Sipajlov V.A. Teplovye processy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverhnosti / V.A. Sipajlov – M.: Mashinostroenie, 1978. – 167 s.
2. Yakimov A.V. Osnovy teplovykh yavlenij pri shlifovanii detalej mashin / A.V. Yakimov [i dr.]. – Odesa: OGPU, 1997. – 272 s.

3. Yakimov A.V. Teplofizika mekhanicheskoy obrabotki / A.V. Yakimov, P.T. Slobodyanik, A.V. Usov. – K.: Odessa: Lybid', 1991. – 240 s.
4. Novoselov Yu.K., Bratan S.M., Krylov I.V. Strategiya upravleniya operaciej shlifovaniya v avtomatizirovannom proizvodstve //Progressivnye tekhnologii i sistemy mashino-stroeniya: Mezhdunarodnaya sbirka nauchnykh trudov. – Doneck: DonG-TU, 2000. – Vyp.9. – S. 116–122.
5. Novoselov Yu.K., Bratan S.M., Kainov D.A. Vliyaniye sostoyaniya rabochej poverhnosti instrumenta na ocenku parametrov formiruyushchego filtra //Rezaniye i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh. – Mezhdunarodnaya nauchnaya tekhnicheskaya sbirka. – Har'kov: HGPU, 2002. – Vyp.62. – S. 84–88.
6. Grabovyy V.M. Povysheniye effektivnosti operacij shlifovaniya v avtomatizirovannom proizvodstve za schet korrektsii tsikla za period stojkosti instrumenta: Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk: 05.13.07/. – Sevastopol': SevNTU, 1996. – 18s.
7. Novosyolov Yu.K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoy obrabotke. – Saratov: izd-vo Sarat. un-ta, 1979. – 232 s.
8. Kalman R., Falb P., Arbib M. Ocherki po matematicheskoy teorii sistem. M.: Mir, 1971. – 398 s.
9. Maslov E.I. Teoriya shlifovaniya materialov / E.I. Maslov. – M.: Mashinostroyeniye, 1974. – 320 s.
10. Borisov V.A. i dr. Reзка zhelezobetonnykh trub abrazivnymi krugami. / V.A. Borisov — Nauchno-tekhnicheskaya referatsionnaya sbirka. «Abrazivnyy». — 1976, № 11.
11. Novosyolov Yu.K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoy obrabotke / Yu.K. Novoselov. — Saratov. : izd-vo Sarat. un-ta, 1979. — 232 s.
12. Vakser D.B. Puti povysheniya proizvoditel'nosti abrazivnogo instrumenta pri shlifovanii. / D.B. Vakser — M.: Mashinostroyeniye, — 1964. — S.124.

Научное издание

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Выпуск №4(20) 2020

Рубрики в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников:

- Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (05.02.07)
- Технология машиностроения (05.02.08)
- Металлургия и материаловедение (05.16.00)

Адрес редакции:

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

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

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

e-mail: vst_sevsu@mail.ru

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

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

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