

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Кыргызско-Российский Славянский университет

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова

Российский государственный аграрный университет – МСХА
им. К.А. Тимирязева

ISSN 2587-7577

МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ПРОЦЕССЫ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Санкт-Петербург, 2022

УДК 62-1 : 001.8
ББК 30.9
М38

М38 Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – №5. – 73 с. – DOI: 10.26160/2587-7577-2022-5.

Представлены материалы V международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация» (27 января 2022г.). Направления работы конференции: 1) Машиностроение и металлообработка; 2) Горные машины и оборудование для добычи полезных ископаемых; 3) Металлургическое производство; 4) Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль; 5) Строительство и ЖКХ; 6) Сельскохозяйственное машиностроение и агропромышленный комплекс; 7) Легкая промышленность; 8) Пищевая промышленность.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием машин и процессов различного технологического назначения.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

Жуков Иван Алексеевич – директор НИЦ «МашиноСтроение», профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

Кугаевский Сергей Семенович – заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» УрФУ, к.т.н., доцент.

Логинов Геннадий Иванович – профессор кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов КРСУ, д.т.н., доцент;

Шифрин Борис Маркович – доцент кафедры управления, автоматизации и системного анализа СПбГЛТУ, к.т.н., доцент;

Юсупов Рамазан Хабибрахманович – профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов РГАУ-МСХА, д.т.н., профессор.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/maippsim.html>
<https://doi.org/10.26160/2587-7577-2022-5>

ISSN 2587-7577

© Авторы, 2022
© НИЦ МС, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение и металлообработка

Фам В.Х., Чан В.К., Шаталов Р.Л. Компьютерное моделирование холодной прокатки полос из алюминиевого сплава АД33 с применением разных смазок валков	5
Умурзаков А.Х., Турдалиев В.М., Хакимов У.А. Экспериментальные исследования водяного двигателя.....	8
Гулиев С.С. Исследование эксплуатационных характеристик роликовых подшипников.....	11
Гальцов И.А. Изменение температурного поля и зоны пластических деформаций «2Вп» при сварке разнородных сталей 09Г2С+10Х13Г18Д с охлаждающей присадкой	14
Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Кришьянис М.В., Хвиюзов М.А., Радюшин В.В. Об уточнении расчета рабочих и пусковых характеристик крупных машин переменного тока	19
Рябичева Л.А., Дядичев А.В. Влияние радиально-прямого выдавливания на структурообразование порошковых пористых заготовок.....	24
Рябичева Л.А., Решетняк Д.В. Изменение силы свободного дорнования при различной пористости полый цилиндрической заготовки	27
Пищов М.Н., Бельский С.Е., Царук Ф.Ф. Увеличение параметров износостойкости тяжело нагруженных деталей трансмиссий лесных машин путем их упрочнения	31
Воронов В.А., Семенов А.Н. Использование гибридных технологий изготовления деталей для повышения технологичности ГТД.....	34
Иванова Г.В., Ли Цзе, Тарасенко Е.А. Определение параметров многодисковых фрикционных муфт.....	37
Семенов А.Н., Василенкова Е.М. Обеспечение качества сборки изделий пространственной конфигурации	42
Шишкин Д.О., Петров П.А. Экспериментальное исследование локализация деформации при кручении сплошного образца алюминиевого сплава АМг6.....	45

Металлургическое производство

- Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т.** Критерии выбора способа внепечной обработки трубной стали для нефтегазовой промышленности48
- Стулов В.В., Шафиев О.М.** Ресурсосберегающий кристаллизатор с двух контурной системой охлаждения и его предварительное тепловое испытание51
- Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г., Банных И.О., Мухина Ю.Э., Пруцков М.Е., Баранов Е.Е.** Новая низколегированная высокопрочная сталь для изготовления изделий, работающих в условиях интенсивного абразивного износа.....54
- Просвирнин Д.В., Пивоварчик С.В., Пруцков М.Е., Антипов В.И., Ковалева Е.Д.** Влияние типа объемного заполнения на механические свойства изделия при 3D печати57
- Просвирнин Д.В., Колмаков А.Г., Пруцков М.Е., Пивоварчик С.В., Антипов В.И., Ковалева Е.Д.** Разработка композиционных материалов на основе аустенитно-мартенситной стали59

Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль

- Харитонюк И.А., Ермошкина И.Г., Лазько Н.В.** Методика построения областей динамической неустойчивости цилиндрической оболочки с пульсирующим потоком идеальной несжимаемой жидкости.....61
- Данильчук В.С.** Классификатор для линии пневматического помольного комплекса.....64

Сельскохозяйственное машиностроение и агропромышленный комплекс

- Рустамов Р.М., Турдалиев В.М., Юлдашев М.А.** Теоретические исследования по определению времени перекачивания семян на наклонной семенной калобе66

Пищевая промышленность

- Солодовников А.Ю.** О некоторых итогах развития пищевой промышленности в Тюменской области70

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД33 С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗНЫХ СМАЗОК ВАЛКОВ

Фам В.Х., Чан В.К., Шаталов Р.Л.

Московский политехнический университет, Москва

Ключевые слова: компьютерное моделирование, холодная прокатка, алюминиевый сплав АД33, сила прокатки, мощность прокатки, смазка валков.

Аннотация. Приведены результаты компьютерного моделирования и опытной холодной прокатки с разными условиями контактного трения полос из алюминиевого сплава АД33 на двухвалковом стане 150х235. Компьютерное моделирование проведено с использованием программы Qform 3D. Результаты исследования позволили оценить положительное влияние смазок валков на распределение силы, момента и мощности прокатки по длине полос при холодной прокатке листовых заготовок из алюминиевого сплава АД33.

COMPUTER SIMULATION OF COLD ROLLING OF AD33 ALUMINUM ALLOY STRIPS USING DIFFERENT ROLL LUBRICANTS

Pham V.H., Tran V.Q., Shatalov R.L.

Moscow Polytechnic University, Moscow

Keywords: computer modeling, cold rolling, aluminum alloy AD33, rolling force, rolling power, lubrication of rolls.

Abstract. The results of computer simulation and experimental cold rolling with different contact friction conditions of AD33 aluminum alloy strips on a 150х235 two-roll mill are presented. Computer modeling was carried out using the Qform 3D program. The results of the study made it possible to evaluate the positive effect of roll lubricants on the distribution of force, torque and rolling power along the length of strips during cold rolling of sheet blanks made of aluminum alloy AD33.

3D-модель процесса прокатки полос создана в системе автоматизированного проектирования Inventor с соответствующими параметрам прокатываемого стана 150х235 в лаборатории кафедры «ОМДиАТ» (рис. 1). Использовали основные геометрические параметры заготовки, соответствующие реальным полосам размером 3,0х25х190 мм [1, 2].

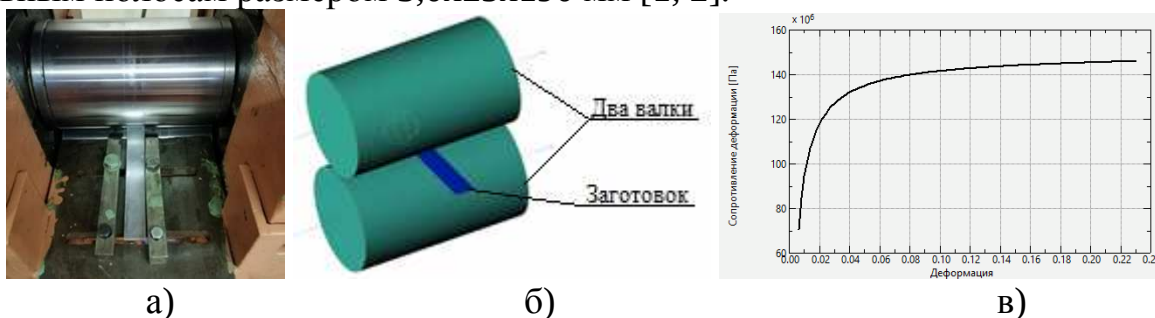


Рис. 1. Прокатный стан 150х235 (а) и его 3D модель (б) и модель материала из алюминиевого сплава АД33 (в)

Моделирование процессов прокатки проводили с одинаковыми обжатиями $\epsilon \approx 20\%$ (зазор между валками $S = 2,4$ мм) и разными условиями контактного

трения между полосой и валками: без смазки ($\mu = 0,092$); с подсолнечным маслом ($\mu = 0,06$); со смазками СПЗ ($\mu = 0,071$); с И40 (5%) ($\mu = 0,068$) и с пальмовым маслом ($\mu = 0,061$) [1-4].

Результаты моделирования и эксперимента процесса прокатки полос из алюминиевого сплава АД33 с различными смазками представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

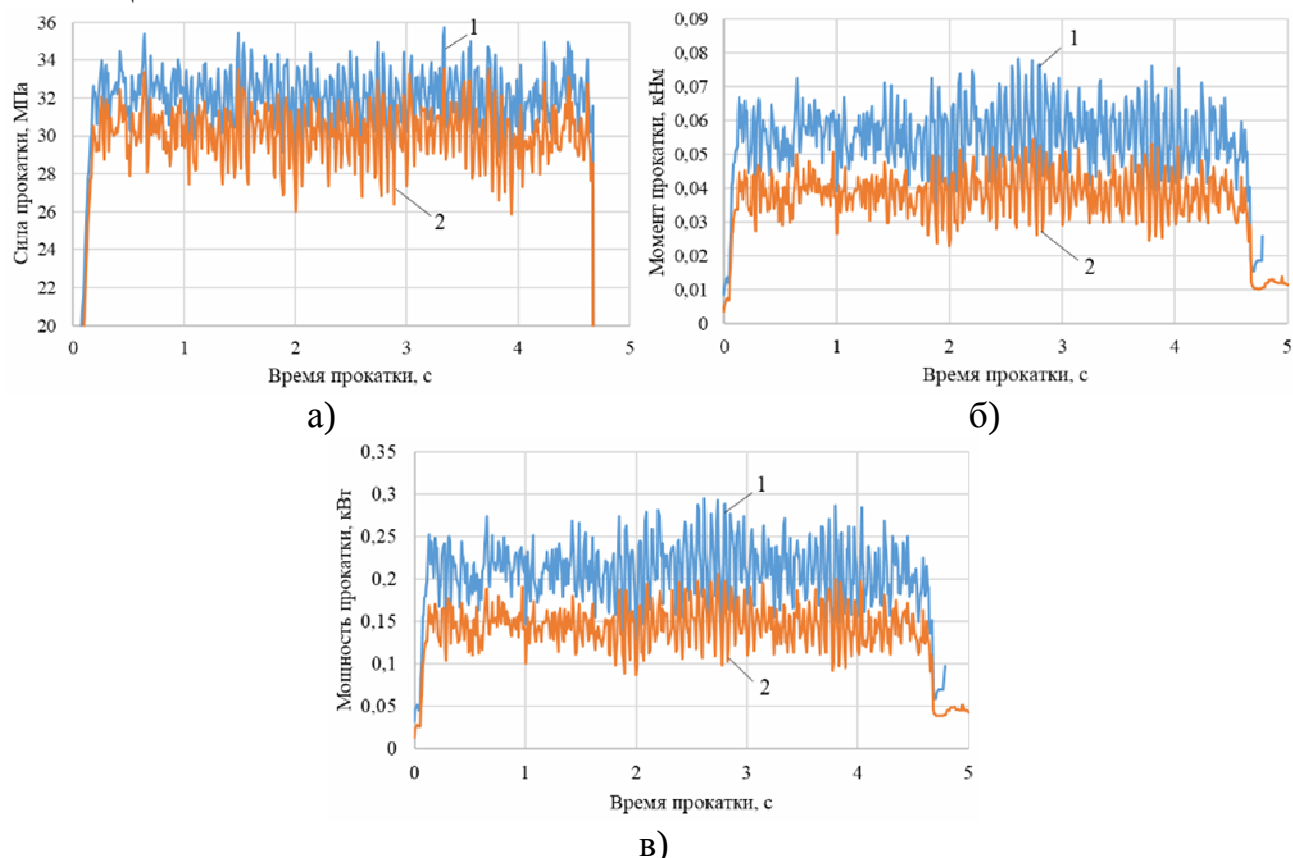


Рис. 2. Распределение сил (а), момента (б) и мощности (в) по длине полосы при моделировании процесса прокатки полос с обжатием 20% из алюминиевого сплава АД33: 1 – в сухих валках; 2 – с индустриальным маслом И40 (5%)

Табл. 1. Показатели прокатки и моделирования: P_z , P_{mod} и $P_{сч}$ – максимальные силы при прокатке, моделировании и расчете

Смазки, μ	Моделирование ($S = 2,4$ мм)				Эксперимент ($S = 2,1$ мм)			
	ϵ , %	P_{mod} , кН	$P_{сч}$, кН	ΔP , %	ϵ , %	P_z , кН	$P_{сч}$, кН	ΔP , %
Сухие валки, 0,092	19,53	35,74	34,15	4,46	21,05	42,86	37,67	12,11
СПЗ (6%), 0,071	19,63	33,65	33,38	0,80	21,85	39,65	37,15	6,30
И40 (5%), 0,068	19,73	33,58	33,37	0,61	22,08	37,58	37,62	-0,11
Пальмовое масло, 0,061	19,83	32,96	33,22	-0,79	22,11	37,57	37,02	3,19
Под. масло (5%), 0,06	19,87	32,50	33,25	-2,30	22,11	37,57	36,88	1,85
Математическое ожидание $M(\Delta P)$				0,56				4,67

Результаты эксперимента и моделирования с помощью программы QForm 3D показали, что при применении смазок валков силовые и энергосиловые параметры уменьшаются, по сравнению с деформацией в сухих валках. Погрешность ΔP расчетных сил прокатки при моделировании находится в пределах от $-2,3$ до $4,46\%$. Математическое ожидание $M(\Delta P)$ изменяется от $0,56$ до $4,67\%$ по сравнению экспериментом, что указывает на адекватность уравнений для определения сил прокатки по длине тонких алюминиевых полос при моделировании процесса прокатки.

Список литературы

1. Шаталов Р.Л. Определение кривой упрочнения и механических свойств прокатанных полос из алюминиевого сплава АД33 известного химического состава / Р.Л. Шаталов, В.Х. Фам, В.К. Чан // Цветные металлы. 2021. №12. С.70-76.
2. Шаталов Р.Л. Влияние смазок и моделей контактного давления на силу прокатки по длине тонких алюминиевых полос / Р.Л. Шаталов, В.Х. Фам, В.К. Чан // Metallurg. 2021. № 6. С.64-72.
3. Shatalov R.L. Influence of Lubricants and Contact Pressure Models on the Rolling Power along Thin Aluminum Stripes / R.L. Shatalov, V.H. Pham, V.Q. Tran // Metallurgist. 2021. DOI: 10.1007/s11015-021-01203-z.
4. Шаталов Р.Л. Определение механических свойств полос из алюминиевого сплава АД33 по различным показателям твердости при холодной прокатке / Р.Л. Шаталов, В.Х. Фам, В.К. Чан // Технология металлов. 2021. № 9. С. 31-37.

Сведения об авторах:

Фам Вьет Хоанг – аспирант;

Чан Ву Куанг – аспирант;

Шаталов Роман Львович – д.т.н., профессор.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДЯНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Умурзаков А.Х., Турдалиев В.М., Хакимов У.А.

Наманганский инженерно-строительный институт, Узбекистан, г. Наманган

Ключевые слова: двигатель, водяное колесо, вода, скорость, мощность, энергия, вал, лопасть, цепная передача, угол установки.

Аннотация. Работа посвящена к исследованию водяного двигателя, применяемый в конструкциях мобильных микроГЭС и водяных насосов малой мощности. Разработана новая конструкция и изготовлена экспериментальная модель водяного двигателя. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований и соответствующие выводы.

EXPERIMENTAL STUDIES OF A WATER ENGINE

Umurzakov A.Kh., Turdaliev V.M., Khakimov U.A.

Namangan Institute of Engineering and Construction, Uzbekistan, Namangan

Keywords: motor, water wheel, water, speed, power, energy, shaft, blade, chain drive, installation angle.

Abstract. The work is devoted to the study of a water engine used in the design of mobile micro-hydroelectric power plants and low-power water pumps. A new design has been developed and an experimental model of a water engine has been manufactured. The methodology and results of experimental studies and the corresponding conclusions are presented.

Самым простым и дешёвым методом извлечения энергии текущей воды, является использование механических установок, то есть водяных двигателей. Согласно проведенных расчетов, с помощью такой установки с габаритным размером в 1 м^3 , можно получить до 1-2 кВт энергии от напора воды, текущей со скоростью 1 м/с. При скорости течения воды равной 2 м/с этот показатель будет выше в 5-6 раз [1].

Энергию текущей воды, получаемой погруженной в нее двигателем, можно определить по следующей формуле [2,3]:

$$N = \frac{1}{2} \rho v^3 F \eta,$$

где; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды; v – скорость течения воды м/с; F – суммарная площадь рабочих лопастей двигателя м^2 ; η – коэффициент полезного действия двигателя.

Из вышеприведенного выражения видно, что из воды, протекающей со скоростью 1 м/с, с помощью механических установок при рабочей площади лопастей 1 м^2 можно извлечь до 500 Вт энергии. Следовательно, с увеличением рабочей поверхности лопастей увеличивается и получаемая мощность.

Увеличение скорости течения воды приведет к кратному увеличению получаемой энергии. С нахождением своеобразного решения конструкции можно увеличить скорость воды, ударяющейся о рабочие лопасти двигателя.

Опираясь на патентные исследования по водяным двигателям и результаты анализа научных исследований, разработана конструктивная схема двигателя [4] (рис. 1).

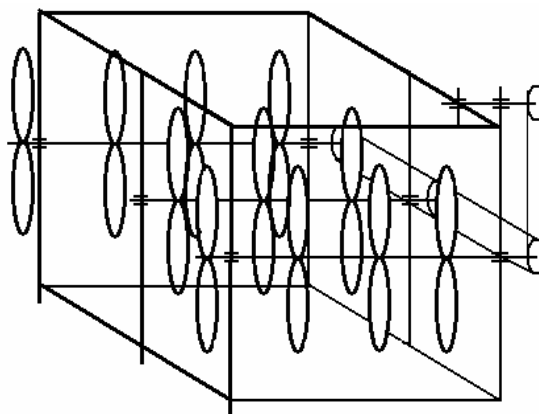


Рис. 1. Схема водяного двигателя

Двигатель состоит из каркаса в виде призмы и его ножек, нескольких валов, жестко прикрепленных к ним рабочих лопастей, звездочек, цепей, вала отбора мощности для генератора или другого устройства и внешней площадки. Рабочие валы и вал отбора мощности установлены на каркас с помощью подшипников. Средний вал имеет три, остальные по четыре рабочих колеса.

Для проведения экспериментальных исследований изготовлена экспериментальная установка водяного двигателя. Для эксперимента была выбрана речка со следующими характеристиками. Ее ширина составляет 5м, средняя глубина – 0,5м, в ней течет прозрачная вода.

Экспериментальные работы проведены в следующем порядке:

1. Определена скорость течения воды.
2. При скорости воды 1,5м/с определены угловая скорость вращения колес, полностью погруженных в воду и вращающий момент этих колес.

Из графика видно, что в результате увеличения угла наклона уменьшается скорость вращения валов (рис. 2). Вращающий момент максимален в промежутке $\alpha = 45^{\circ} - 60^{\circ}$.

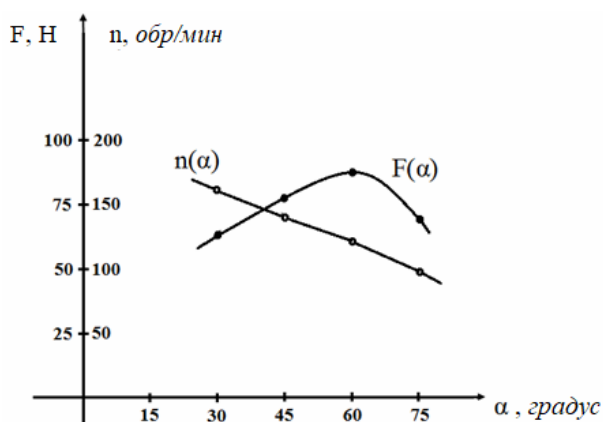


Рис. 2. Изменение окружной силы и скорости вращения в зависимости от угла установки лопастей

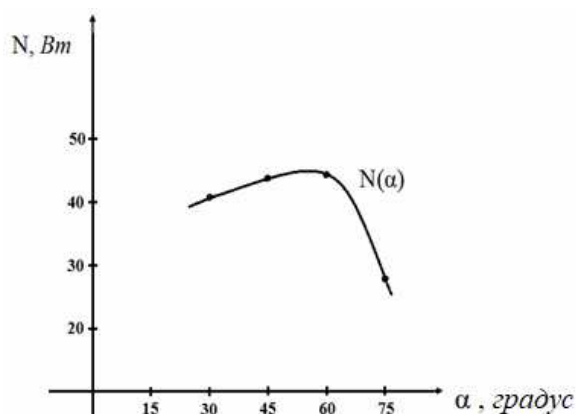


Рис. 3. Зависимость мощности от угла установки лопастей

Из рисунка 3 видно, что при угле наклона лопастей в промежутке 45° - 60° , из потока воды извлекается максимальная энергия при угле наклоне 30° и 65° , можно извлечь одинаковую мощность на выходном валу. Однако, при малом угле наклона нагрузка на лопасти увеличивается. Это приводит к сгибанию или паломке лопастей. Следовательно, при изготовлении водяных двигателей угол наклона лопастей, исходя из технологических требований, устанавливается в пределах 45° - 60° .

Установленные на одном валу колеса должны вращаться с одинаковой скоростью. Для обеспечения этого расстояние между колесами должно быть не менее 40-50 см, а угол наклона лопастей на каждое следующее колесо должен уменьшаться на $5\div 10^{\circ}$. Наблюдения также показали, что параллельно расположенные колеса при работе не мешают друг другу.

Список литературы

1. Умурзаков А.Х., Нажмиддинова Ё.Р., Атахонов Х.Б. Эффективные водяные двигатели для мобильных мигрогэс и насосов // Научный журнал механики и технологии. – 2020. – №1. – С. 33-38.
2. Вершинина И.П. Оценка энергетического потенциала малых рек бассейна томи // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – №3. – С.111-118.
3. Орехов Г.В. Характеристики потока и особенности кавитационных явлений в контрвихревых гасителях энергии гидротехнических сооружений // Вестник Евразийской науки. – 2019. – №2. – С. 1-18.
4. Патент Рес. Узб. №FAP 01148. Двигатель для утилизации энергии текущей среды / А.Х. Умурзаков, К.А. Каримов, Ж. Мухамедов, Х.Б. Атахонов, У.А. Хакимов. – Бюл. №11, 29.11.2016.

Сведения об авторах:

Умурзаков Акрамжон Хакимович – д.т.н., доцент, профессор кафедры “Общетехнические дисциплины”;

Турдалиев Вохиджон Махсудович – д.т.н., профессор, профессор кафедры “Общетехнические дисциплины”;

Хакимов Уткирбек Акрамович – аспирант.

WORKING CAPACITY OF ROLLING RELIABILITY INVESTIGATION

Guliyev S.S.

Azerbaijan Technology University, Ganja, Azerbaijan

Keywords: rolling pads, performance, reliability, longevity, operating modes, uninterrupted operation, probability-statistical models.

Abstract. The article is devoted to a comprehensive study of the performance and reliability of roller bearings. Based on the analysis of the longevity of the pillows and the generalization of the research results, the method of assessing the impact of key factors on the longevity of roller bearings has been clarified. A mathematical model was obtained to express the longevity of rolling pads as a function of a random argument based on a known law of distribution of conductivity. It has been confirmed that the longevity of roller bearings is distributed by the law of normal logarithmic distribution. Probability-statistical models for estimating the continuous operation of roller bearings as a result of the composition of the distribution function of the dynamic load, taking into account the typical variable loading modes and real operating conditions, have been clarified.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Гулиев С.С.

Азербайджанский технологический университет, г. Гянджа, Азербайджан

Ключевые слова: роликовые подшипники, работоспособность, надежность, долговечность, режимы работы, вероятностно-статистические модели.

Аннотация. Статья посвящена комплексному исследованию работоспособности роликовых подшипников. На основе анализа долговечности подшипников и обобщения результатов исследований уточнен метод оценки влияния ключевых факторов на долговечность роликоподшипников. Получена математическая модель для выражения долговечности роликоподшипников как функции случайного аргумента, основанного на известном законе распределения. Подтверждено, что долговечность роликоподшипников распределяется по закону нормального логарифмического распределения. Вероятностно-статистические модели для оценки безотказной работы роликоподшипников проверены на адекватность.

Introduction. Different types of machines and mechanisms are widely used in most industries. Machines facilitate heavy manual labor, increase productivity and reduce the cost of production [1]. Machines and mechanisms consist of separate knots, junctions and details, the most responsible of which are knotted pads. The pads support the shafts and the details on the shafts. The details of the pillows must have quality indicators such as strength and rigidity, resistance to wear, heat, vibration and reliability [2].

Pillow-block parts must be functional – be able to perform maintenance in the required time, meet the requirements of minimal preparation and maintenance costs. Therefore, it is important to design pillow-block joints and evaluate their performance and reliability in engineering calculations [3].

The literature review showed that the methods for determining the resource and reliability of roller bearings are not sufficiently developed, and the issues of reducing the material capacity and ensuring the accuracy of the bearings are pending [4]. There

is a need for a comprehensive study of the handling and carrying capacity of analytical methods, taking into account the high level of reliability of rolling pads.

Analytical model of pillow-block conductivity. It is known that many factors affect the longevity and conductivity of rolling pads. These factors can affect the research object individually or in combination, as well as in combination with several factors [5]. Some factors can affect the pillow-block by overlapping, some can disappear, and in turn, the sum and difference of each factor can be added or subtracted, and the factors can interact with each other. This means that the effect of many factors on the performance of pillow-blocks has a complex synergistic nature [6].

If we consider the residual conductivity of the pillow-blocks as a result of the combined effect of these factors, then it is necessary to take into account the combined or synergistic effect of the factors to determine the dispersion of performance. It is known that the equivalent load or overload can be considered as a more important factor, the nature of which allows to assess the condition of the roller bearings and increase the accuracy of the probability of uninterrupted operation. Other factors include the quality characteristics of the construction material, the kinematic and dynamic loading parameters.

Probabilistic-statistical models of longevity of pillow-blocks. It is necessary to determine the main characteristics of the obtained distribution laws in order to identify the different designs of rolling pads, the conditions of damage and the general characteristics of the loading regimes.

The accuracy of the statistical characteristics of residual conductivity $M(z)$ and $D(z)$ is determined by the limits of possible deviations of the obtained values or confidence intervals at the required level of significance α . The results of numerical calculations showed that the assessment of the reliability of roller bearings depends on the operating time of the bearings during the control selection, the volume of the selection and the distribution of longevity.

It was found that the experimental-statistical approach is the optimal method of estimating the residual conductivity of pillows and allows to determine a random quantity from another – through the longevity of pillows and obtain regression models. The accuracy of the mathematical model and the importance of individual factors can be assessed by Fisher's and Student's criteria.

Thus, for the longevity of roller bearings, the three-parameter logarithmic normal distribution law and the equation that characterizes the scattering of the operating load, taking into account the Veybull's distribution. The significance of the mathematical expectation and variance values for the longevity of roller bearings, taking into account the equivalent probability of operation load distribution, logarithmic normal and Veybull's.

The importance of the values of mathematical expectations determines the average value of the indicated random effects of the corresponding factors and variances. This average value characterizes the scattering of the operational load for the β -distribution of the scattering capacity.

Let us determine the significance of the values of the mathematical expectation that determine the average value of the relevant factors and variances. These, in turn,

determine the scattering of residual conductivity for a stable loading regime and a dynamic loading or conducting capacity composition.

Result. Based on the analysis of the longevity of the pillow-blocks and the generalization of the research results, the method of assessing the impact of the main factors on the longevity of the roller pillows has been clarified. A mathematical model was obtained to express the longevity of rolling pads as a function of a random argument based on a known law of distribution of conductivity.

Probability-statistical models for estimating the continuous operation of roller bearings as a result of the composition of the distribution function of the dynamic load, taking into account the typical variable loading modes and real operating conditions, have been clarified.

References

1. Abdullayev A.H. Basics of machine parts and construction design. Baku: Science, 2003, 462 p.
2. Rasulov N.M. Machine production technology. Baku: Education, 2010. 432 p.
3. Shirzadov F.M. Basics of tribology. Baku: ATU, 2018. 306 p.
4. Berezovskiy Yu.N. Machine parts. M.: Mechanical engineering, 2003. 346 p.
5. Braude V.N. Reliability of lifting and transport machines. Leningrad: Mechanical engineering, 1986. – 183 p.
6. Gadolin I.V. Development of methods for evaluating durability by the criterion of fatigue resistance: abstract of diss. ... cand. of tech. sc. Moscow, 1990. 20 p.

Сведения об авторе:

Седир Садай оглы Гулиев – ассистент.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ЗОНЫ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ «2ВП» ПРИ СВАРКЕ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ 09Г2С+10Х13Г18Д С ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ПРИСАДКОЙ

Гальцов И.А.

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г.Северодвинск*

Ключевые слова: сталь, феррит, тепло, электрод, сварочный шов, аустенит, трещина, сварочная проволока, диффузия, сварочный цикл, кристаллизатор, холодная присадка, теплопоглотитель.

Аннотация. На образование сварного соединения тратится менее половины общей теплоты дуги, большая часть расходуется на перегрев сварочной ванны, нагрев изделия и его деформацию. Это приводит к ухудшению свойств сварного соединения. Поэтому приходится находить более эффективные способы использования теплоты для повышения качества сварных соединений и производительности сварки. Одним из способов в этом процессе является ввод внутренних стоков тепла (теплопоглотителей) в виде охлаждающей, холодной присадки, понижающих температуру сварочной ванны.

THE CHANGE IN THE TEMPERATURE FIELD AND THE ZONE OF PLASTIC DEFORMATIONS "2BP" DURING WELDING OF DISSIMILAR STEELS 09MN2SI +10CR13MN18CU WITH A COOLING ADDITIVE

Galtsov I.A.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk

Keywords: steel, ferrite, heat, electrode, welding seam, austenite, crack, welding wire, diffusion, welding cycle, crystallizer, cold additive, heat absorber.

Abstract. Less than half of the total arc heat is spent on the formation of a welded joint, most of it is spent on overheating the welding bath, heating the product and its deformation. This leads to deterioration of the properties of the welded joint. Therefore, it is necessary to find more efficient ways to use heat to improve the quality of welded joints and welding performance. One of the ways in this process is the introduction of internal heat sinks (heat absorbers) in the form of a cooling, cold additive-macro-coolers that lower the temperature of the welding bath.

Одним из способов ограниченного применения дорогостоящих высоколегированных сталей в металлоконструкциях является изготовление их комбинированными. Во многих случаях в специфических условиях работает не все изделие, а лишь отдельные его узлы и даже детали. Остальная часть изделия находится в обычных условиях, поэтому она может быть изготовлена из средне- или низколегированной стали или даже из обычной углеродистой.

Такие конструкции могут быть изготовлены из разнородных сталей, в которых изделие выполняют из низкоуглеродистой стали в сочетании с коррозионностойкой. Такой материал сохраняет надежную связь составляющих при дальнейшей технологической обработке и в условиях эксплуатации.

В комбинированных конструкциях, предназначенных для работы в агрессивных средах, соединение отдельных частей целесообразно производить с

помощью сварки, так как механическое соединение часто оказывается конструктивно сложным и ненадежным в эксплуатации. Однако при этом приходится сваривать стали, отличающиеся одна от другой своими физико-механическими и химическими свойствами, в результате чего получить качественное и надежно работающее в особых условиях сварное соединение довольно трудно. Поэтому сварка разнородных сталей составила самостоятельную проблему, являющуюся одной из наиболее сложных проблем современной сварочной науки и техники, над решением которой длительное время работают многие исследователи как в СНГ, так и за рубежом [1].

Часто в сварных комбинированных металлоконструкциях применяют сочетание сталей ферритоперлитного+аустенитного классов типа 09Г2С+10Х13Г18Д. Но при сварке плавлением ферритоперлитной и аустенитной стали возникает проблема соединения разнородных материалов отличающихся физико-механическими свойствами и химическим составом. В месте контакта разнотермических металлов развивается химическая и структурная неоднородность. Кроме того сварка как технологический процесс получения неразъемного соединения характеризуется высоколокальным введением тепловой энергии в металл. В результате сварочного термомеханического цикла в деталях и узлах появляются остаточные сварочные деформации. Этому способствует то, что по своим свойствам аустенитная сталь имеет низкий коэффициент теплопроводности, высокий коэффициент линейного расширения и склонна к упрочнению (табл. 1).

Табл. 1. Физические свойства сталей 10Х13Г18Д и 09Г2С

Физические свойства	Марка стали	
	10Х13Г18Д	09Г2С
Удельный вес, г/см ³	7,9	7,85
Температура плавления, °С	1425	1500
Теплопроводность при 100°С, кал/см·град·сек	0,039-0,040	0,096
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ при температуре от 0 до 100°С	19	12
Электросопротивление при 20°С, ом·мм ² /м	0,73	0,15
Температура интенсивного окисления, град С	800	550
Магнитные свойства	немагнитна	магнитна

Известно, что на образование сварного соединения тратится только четверть от общей теплоты дуги, а большая его часть расходуется на перегрев сварочной ванны, нагрев изделия, его деформацию, диффузию химических элементов между слоями, что приводит к ухудшению свойств сварного соединения разнородных сталей. Поэтому находят способы более эффективного использования теплоты для повышения как производительности сварки, так и качества сварных соединений.

С целью повышения качества сварного шва разнородных сталей ферритоперлитного и аустенитного классов возможно применение электродов с

повышенным содержанием легирующих элементов, в частности никеля, компенсирующих разбавление аустенитного металла шва ферритным металлом и обладающим блокирующим действием реактивной диффузии углерода из стали менее легированной в более легированную. Данная технология сварки наиболее распространена в сварочном производстве, но она же является и наиболее дорогостоящей, с точки зрения применения никеля.

Так же возможно применение сварки с регулируемым термическим циклом. К ним относятся такие технологические способы регулирования структуры и свойств, как использование дополнительного гранулированного присадочного металла (ДГПМ), электромагнитное перемешивание (ЭМП) металла в сварочной ванне, ввод дополнительных электродов без тока в сварочную ванну, дозирование мощности, сужение сварочного зазора (УЗ), модулирование сварочного тока (МТ), принудительное и сопутствующее охлаждение (ПСО) в процессе сварки [1, 3, 4].

Но применению способ (ЭМП) интенсивному электромагнитному перемешиванию ванны препятствует наличие шунтирования магнитного поля перлитной сталью, а также нарушение шлаковой защиты. В этом процессе весьма эффективен ввод внутренних стоков тепла в виде охлаждающей присадки, также снижающей температуру ванны.

Целью данной работы явилось экспериментальное исследование образования зоны пластических деформаций «2Вп», выявление температурных полей при сварке с охлаждающей присадкой (холодной проволокой).

С целью достижения поставленной цели производилось моделирование процесса сварки разнородных сталей на листовых конструкциях.

Эксперименты производились на образцах стали 09Г2С размером 200×300×5мм и 10Х13Г18Д размером 200×300×3мм производилась автоматическая сварка в среде защитного газа (Ar) нахлесточного соединения типа Н-1 ГОСТ8713-79 проволокой марки Св-08Х20Н9Г7Т Ø-1,2мм, в приспособлении “кондукторе” для обеспечения жесткости сварного соединения. В качестве охлаждающей присадки применяли дополнительную холодную проволоку такого же химического состава Св-08Х20Н9Г7Т Ø-1мм, которую вводили в хвостовую часть сварочной ванны.

Массовая доля охлаждающей присадки составляла 80÷85% от массы наплавленного металла сварочной проволоки. Режимы сварки составляли: $I_{св}=80\div100\text{А}$; $U_d=18\div20\text{В}$; $V_{св}=30\div40\text{м/ч}$, постоянный ток обратной полярности. Зону пластических деформаций «Вп» выявляли отдельно, со стороны аустенитной стали 10Х13Г18Д, после сварки, вытравливали реактивом «Фрая» [2]. Со стороны ферритоперлитной стали 09Г2С зону «Вп» выявляли по появлению, после сварки, полос текучести – линий «Чернова–Людерса» (рис. 1 а, б). Температурные поля выявляли с помощью термокарандашей.

В результате анализа зон пластической деформации «2Вп» (рис. 1 а, б) и температурных полей (рис. 2 а, б) наблюдается изменение зоны «2Вп» от 60 мм до 38 мм (сужение на 37%). Уменьшение ширины зоны пластической деформации является следствием поглощения части паразитного тепла сварки, холодной присадкой, в интервале температур кристаллизации сварочной ванны.

Что в свою очередь является позитивным для всего сварного соединения. Применение массовой доли холодной присадки менее 80÷85% от массы стержня электрода, уменьшает эффект поглощения паразитного тепла сварки, применение массовой доли более 90%, приводит к неполному плавлению охлаждающей проволоки и ухудшению внешнего вида сварного шва.

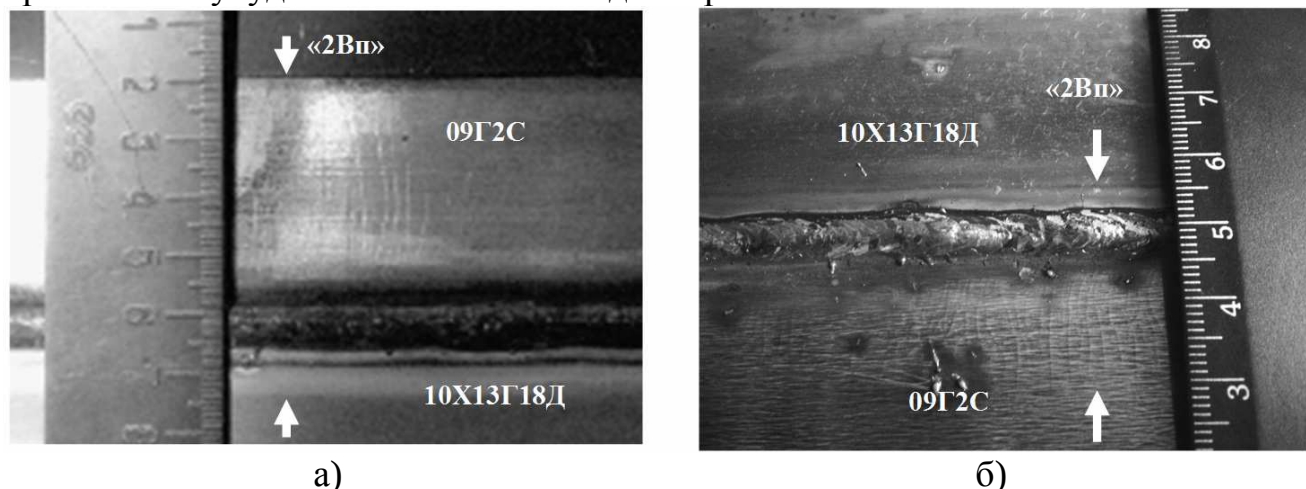


Рис. 1. Зона пластических деформаций «2Вп» при сварке сталей 09Г2С+10Х13Г18Д: а – автоматическая сварка в среде защитного газа; б – автоматическая сварка в среде защитного газа с холодной присадкой

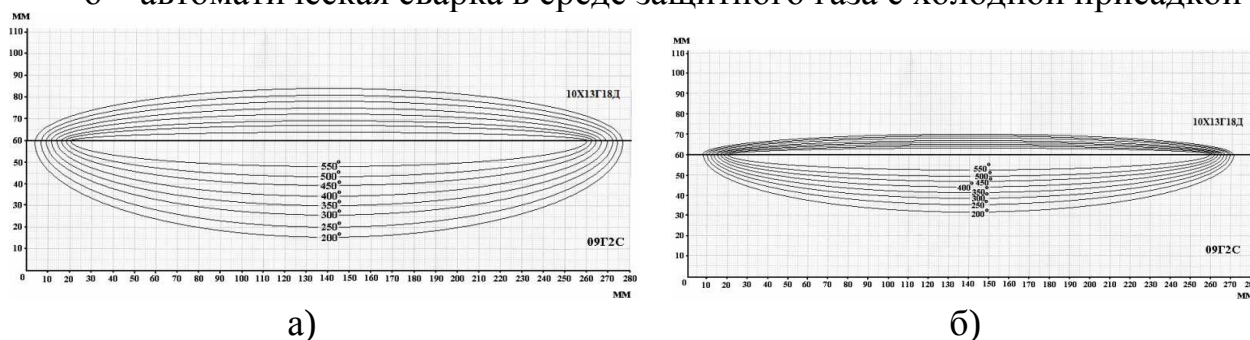


Рис. 2. Температурное поле при сварке сталей 09Г2С+10Х13Г18Д: а – автоматическая сварка в среде защитного газа; б – автоматическая сварка в среде защитного газа с холодной присадкой

Основными технологичными путями уменьшения зоны пластических деформаций и уменьшения негативных процессов паразитного тепла является сварка с регулируемым тепловложением, с помощью введения присадочного металла в виде дополнительной, холодной присадки в жидкий металл сварочной ванны. Каково же влияние холодной присадки, макрохолодильника?

Попадая в сварочную ванну макрохолодильники, либо частично оплавляются или полностью расплавляются, но не тотчас после попадания в расплав, а много позже, когда основной объем металла уже затвердел. Он сперва ведет себя, как подобает внутреннему кристаллизатору, т.е. снимает перегрев, дает жизнь множеству кристаллов, растущих от него точно так же, как растут их родные собратья, – прямо от края сварочной ванны. А затем, по мере прогревания, когда вокруг них уже все затвердело, они, эти макрохолодильники, расплавляются и затвердевают вновь лишь в тот момент, когда температура сварочной ванны снизится до температуры начала их кристаллизации.

Применительно к литейному производству академик Н.Т. Гудцов дал характеристику влияния макрохолодильника на жидкий металл [5].

Подобно тому, как в слитке, обработанном микрохолодильниками, не найдешь их самих, а лишь результат их действия, так и здесь не найдешь следа макрохолодильника, если он целиком расплавился, перемешался с основным металлом и как бы исчез. Он, как мавр – сделал свое дело и ушел... ушел в раствор [5].

Выводы

1. Основными технологичными путями уменьшения ширины зоны пластических деформаций, температурного поля, уменьшения негативных процессов влияния паразитного тепла является сварка с регулируемым тепловложением, с помощью введения холодного присадочного металла в жидкий металл сварочной ванны.

2. Ввод охлаждающей присадки в жидкий металл сварочной ванны массовой долей 80÷85% от массы наплавленного металла, позволяет уменьшить ширину температурного поля и зоны пластических деформаций «2Вп» на 37-40%.

Список литературы

1. Патон Б.Е. Многослойная сталь в сварных конструкциях. – К.: Техника, 1984. – 284с.
2. Способы металлографического травления: Справ. изд. / Пер. с нем. Беккерт М., Клемм Х. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 400с.
3. Готальский Ю.Н. Сварка разнородных сталей. – К.: Техніка, 1981. –184 с.
4. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Справ. изд. / Под ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991. – 528с.
5. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. Справ. изд. / Под ред. акад. Н.Т. Гудцова, к.т.н. М.Л. Бернштейна, к.т.н. А. Г. Рахштадгл. – М.: Металлургия, 1956.

Сведения об авторе:

Гальцов Игорь Александрович – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии металлов и машиностроения.

ОБ УТОЧНЕНИИ РАСЧЕТА РАБОЧИХ И ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНЫХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Кришьянис М.В., Хвиюзов М.А., Радюшин В.В.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г.Архангельск*

Ключевые слова: асинхронный двигатель, короткозамкнутый ротор, поверхностный эффект, схема замещения, рабочие характеристики, пусковые характеристики, механические характеристики.

Аннотация. Проблема повышения технико-экономического уровня и конкурентоспособности машин переменного тока большой мощности является одной из основных в крупном машиностроении. Решение этой проблемы предполагает углубленное изучение физических процессов в машинах и анализ закономерностей, лежащих в основе выбора геометрических размеров их активной части. Данная статья посвящена современным методам проектирования мощных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и включает исследование физических закономерностей, определяющих рабочие и пусковые характеристики двигателя в зависимости от геометрии зубцовой зоны ротора, а также исследование процессов поверхностного эффекта в стержнях беличьей клетки.

ON CLARIFYING THE CALCULATION OF THE OPERATING AND STARTING CHARACTERISTICS OF LARGE ALTERNATING CURRENT MACHINES

*Petukhov S.V., Balantseva N.B., Krishyanis M.V., Khviyuzov M.A., Radyushin V.V.
Northen (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk*

Keywords: asynchronous motor, short-circuited rotor, surface effect, replacement circuit, operating characteristics, starting characteristics, mechanical characteristics.

Abstract. The problem of increasing the technical and economic level and competitiveness of high-power alternating current machines is one of the main problems in large-scale mechanical engineering. The solution to this problem involves an in-depth study of physical processes in machines and an analysis of the patterns underlying the choice of geometric dimensions of their active part. This article is devoted to modern methods of designing high-power asynchronous motors with a short-circuited rotor and includes the study of physical patterns that determine the operating and starting characteristics of the motor depending on the geometry of the tooth zone of the rotor, as well as the study of surface effect processes in squirrel cage rods.

Современные серии асинхронных двигателей отличаются высокими показателями как в пусковом режиме, так и в номинальном. Например, двигатели серии ДАЗ (1250 кВт – 2500 кВт, 6 кВ 1500 об/мин), а также синхронные, используемые в металлургии, горнодобывающей и других отраслях промышленности, имеют максимальный момент 220 % – 240% от номинального, начальный момент до 100% при КПД 95,3% – 95,4% и $\cos \varphi = 0,86 – 0,87$. Аналогичные показатели имеют двигатели других серий, предназначенные для работы во многих отраслях промышленности. Высокими показателями отличаются двигатели, используемые в агрегатах резервного возбуждения мощных турбогенераторов (600 МВт – 800 МВт). Максимальный момент этих

машин составляет около 400%, что соответствует требованиям двухкратной форсировки тока возбуждения турбогенераторов.

В настоящее время проблема уточнения рабочих характеристик крупных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором представляет интерес как для машин, работающих в сети промышленной частоты (50 или 60 Гц), так и для частотно - управляемых машин:

– Для машин промышленной частоты интерес представляют пусковые характеристики асинхронных двигателей $M = f(s)$ при пуске из холодного состояния и из горячего состояния. Отметим, что в современной практике для крупных асинхронных двигателей в технических условиях (ТУ) обычно нормируются два пуска из холодного состояния и один пуск из горячего состояния. Для уточнения зависимости $M = f(s)$ и количества пусков, указываемых в ТУ, необходимо уточнение параметров схемы замещения асинхронного двигателя и в первую очередь сопротивлений роторного контура (r_2 – активное сопротивление роторного контура, x_2 – индуктивное сопротивление рассеяния роторного контура).

– Для частотно-управляемых асинхронных машин нет практической необходимости уточнять пусковые характеристики $M = f(s)$ так как пуск таких двигателей предполагается частотный в соответствии с зависимостью $\frac{U_1}{f_1} = const$

или $\frac{U_{1j}}{f_{1j}} = \frac{U_{1k}}{f_{1k}} \cdot \sqrt{\frac{M_c(\omega_j)}{M_c(\omega_k)}}$ (закон М.П. Костенко). Однако интерес представляют

добавочные потери, возникающие в клетке двигателя от высших временных гармоник в кривой питающего напряжения. Это особенно относится к асинхронным двигателям с беличьей клеткой и в меньшей степени к синхронным двигателям и генераторам. Асинхронные машины, как правило, не выполняются с 6 фазной обмоткой и поэтому в кривой тока статора их содержится 5 и 7 временные гармоники.

Для определения активного и индуктивного сопротивлений вторичного контура схемы замещения (r_2 и x_2) необходимо уточнить их величины с учетом [1]:

- поверхностного эффекта при $\theta = f(x,y) = const$
- при $\theta = var$.

Это уточнение должно быть выполнено для элементов короткозамкнутых контуров ротора — стержней беличьей клетки асинхронной машины, демпферных стержней явнополусной синхронной машины следующей конфигурации [2]:

- прямоугольные стержни при $\theta = var$
- стержни бутылочной формы при $\theta = var$
- трапециевидальные стержни с широким нижним основанием (машины промышленной частоты) при $\theta = var$
- трапециевидальные стержни с узким нижним основанием (частотно-управляемые асинхронные двигатели) при $\theta = const$ и $\theta = var$). Нижнее основание трапеции соответствует основанию паза.

Метод исследования поверхностного эффекта элементов короткозамкнутых обмоток ротора с учетом распределения температуры в стержне, рассмотренный в данной статье предполагает следующие итеративные этапы решения в рамках задачи САПР [3,4]:

- расчет распределения токов в схеме замещения (Т- или Г-образной) при $\theta = f(x, y) = \text{const}$. Расчет поверхностного эффекта (коэффициентов K_r и K_x) при этом условии;

- расчет распределения токов с учетом найденных значений коэффициентов K_r и K_x ;

- уточнение зависимости $\theta = f(x, y)$ и расчет коэффициентов K_r и K_x .

Расчет зависимости $M = f(s)$ предполагает решение в рамках САПР дифференциального уравнения движения ротора:

$$M - M_{cm} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}, \quad (1)$$

причем на каждом шаге по времени $\Delta t = \text{const}$ происходит уточнение указанных выше величин. Практика стендовых испытаний мощного асинхронного двигателя подтверждает, что в области больших скольжений при значениях $M_{дв}(s)$ не сохраняются постоянными по мере увеличения числа пусков [3].

Кривая $M_{дв} = M_{дв}(s)$ определяется параметрами схемы замещения двигателя [2-4]: $M_{дв} = f(Z_1, Z_2, Z_m)$, где $Z_1 = R_1 + jX_1$, $Z_2 = R_2 + jX_2$, $Z_m = R_m + jX_m$ – соответственно полные, активные и индуктивные сопротивления её первичного и вторичного контуров и контура намагничивания.

Перейдем к методам расчета поверхностного эффекта с учетом распределения температуры $\theta = f(x, y)$: известные аналитические методы предполагают, что удельное сопротивление проводника $\rho = \text{const}$. Это позволяет, исходя из уравнений Максвелла, получить уравнение Гельмгольца (одномерное или двухмерное), которое дает решение в замкнутой форме. Однако учет условия $\rho = f(x, y, \theta)$ значительно усложняет результаты решения даже для простейшей конфигурации стержня (прямоугольной). Целесообразно решение выполнить численным методом и представить его результаты в виде графиков, обработанных с учетом критерия подобия. Поскольку в общем случае с учетом зависимости $\rho = f(x, y, \theta)$ процесс распределения тока в стержне описывается уравнениями Максвелла, то для получения результатов численным методом удобно использовать либо метод сеток, либо метод конечных элементов (МКЭ) для решения этого уравнения. Алгоритм расчета вихревых токов и потерь в стержне клетки и его температуры при пуске представлен на рисунке 1.

Однако выше мы отмечали, что определение сопротивлений вторичного контура r_2 и x_2 является элементом расчета рабочих характеристик асинхронной машины, поэтому использование указанных методов (сеток или конечных элементов) в рамках задачи САПР требует больших затрат машинного времени даже для последнего поколения компьютеров. Это объясняется тем, что для каждого шага интегрирования дифференциального уравнения (1) задача решается методом итераций, в результате чего уравнение Максвелла необходимо было бы решать сотни раз. Поэтому для инженерных расчетов в рамках задач САПР

целесообразно использовать метод магнито-связанных контуров (МСК) [1]. По сравнению с МКЭ погрешность в определении коэффициентов K_R и K_X не превышает 1%, а для стержней с трапецидальной конфигурацией не более 5-8%. Это соответствует инженерной точности расчета рабочих характеристик машин переменного тока.

Блок-Схема программы расчета коэффициентов K_R, K_X

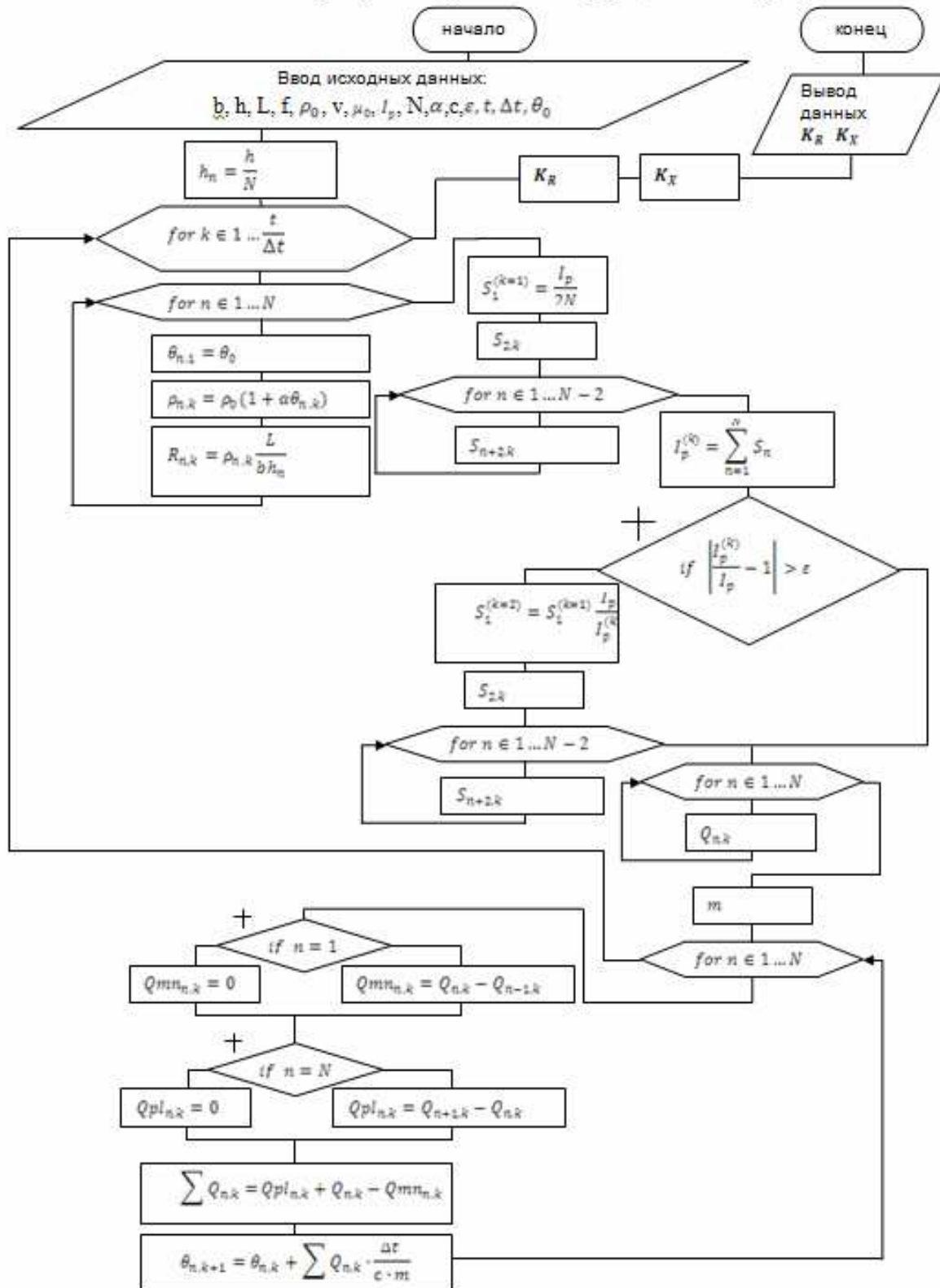


Рис. 1. Блок-схема программы расчета коэффициентов K_R и K_X , вихревых токов и добавочных потерь

В результате расчетно-теоретических исследований был разработан метод и алгоритм расчета поверхностного эффекта в стержнях беличьей клетки ротора для стержней различных форм сечения, используемых на практике. Такой расчет позволяет уточнить рабочие и пусковые характеристики двигателя путем уточнения коэффициентов Фильда для обмоток ротора.

Список литературы

1. Богуславский И.З. Поверхностный эффект в стержнях ротора мощного асинхронного двигателя с учетом распределения в них температуры // Электричество. 1981. №9. С. 69-71.
2. Богуславский И.З., Кришьянис М.В. Активное и индуктивное сопротивление трапецидальных стержней клетки мощного частотно-регулируемого двигателя // Электротехника. 2006. №3. С. 7-10.
3. Богуславский И.З., Кришьянис М.В. Метод расчета поверхностного эффекта в стержне клетки ротора с учетом изменения в нем температуры при пуске // Электротехника. 2008. №3. С. 24-30.
4. Богуславский И.З., Кришьянис М.В. Поверхностный эффект в стержнях ротора мощного асинхронного двигателя с учетом изменения в них температуры при пуске // Проблемы создания и эксплуатации новых типов электроэнергетического оборудования – сб. науч. тр. Вып. 7. – Санкт-Петербург: Российская академия наук, отдел электроэнергетических проблем РАН, 2006. – С. 49-64.

Сведения об авторах:

Петухов Сергей Васильевич – к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой электроэнергетики и электротехники;

Баланцева Наталья Борисовна – к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники;

Кришьянис Майя Волдемаровна – старший преподаватель кафедры электроэнергетики и электротехники;

Хвиюзов Михаил Андреевич – к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники;

Радюшин Вячеслав Витальевич – к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

Рябичева Л.А., Дядичев А.В.

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г.Луганск

Ключевые слова: порошковая пористая заготовка, радиально-прямое выдавливание, микроструктура, твердость, отжиг.

Аннотация. Рассмотрено распределение твердости и микроструктура образцов, полученных выдавливанием порошковой пористой заготовки из медного порошка, а также после отжига. После деформирования в местах с наибольшей степенью деформации наблюдается повышение твердости вследствие измельчения зерна меди. Деформирование приводит к разнотекучности в различных областях заготовки. Отжиг уменьшает величину зерна и разнотекучность, обеспечивает равномерное распределение твердости по сечению заготовки, снимает упрочнение и выравнивает микроструктуру.

THE INFLUENCE OF RADIAL STRAIGHT EXTRUSION ON STRUCTURE FORMATION OF POWDER POROUS BILLETS

Ryabicheva L.A., Dyadichev A.V.

Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk

Keywords: powder porous billet, radial-direct extrusion, microstructure, hardness, annealing.

Abstract. The distribution of hardness and microstructure of samples obtained by extrusion of a powder porous billet from copper powder, as well as after annealing, are considered. After deformation, in places with the highest degree of deformation, an increase in hardness is observed due to the refinement of the copper grain. Deformation leads to inhomogeneity in different areas of the workpiece. Annealing reduces the grain size and uneven grain size, ensures a uniform distribution of hardness over the cross section of the workpiece, removes hardening and evens out the microstructure.

Значительный интерес представляет изготовление радиально-прямым выдавливанием изделий типа «стакан» из порошковых материалов [1]. Целью работы является исследование влияния радиально-прямого выдавливания пористой заготовки на структурообразование и твердость изделий.

Технологический процесс состоит из следующих операций: приготовление шихты, прессование пористой заготовки с относительной плотностью не менее 0,9 [2], спекание и выдавливание изделия необходимой формы и размеров.

Получено, что твердость по объему выдавленных заготовок распределена неравномерно (рис. 1). Высокую твердость имеют центральные области донной части 1 со стороны верхнего пуансона (129-131 НВ). Еще выше твердость в области перехода от донной к стенке трубчатой части 2 (137 НВ). Меньшую твердость имеют периферийные области донной части 3 (107 НВ) и еще ниже области, прилегающей к пуансону, выдавливающему полость, 4 (95 НВ). В кольцевой части твердость ниже, чем в донной. Максимальную твердость (118 НВ) имеет область со стороны донной части 5, прилегающей к центральному пуансону, формирующему внутреннюю полость, твердость периферийной области 6 ниже (94 НВ) и еще меньше торцевой части 7 (72-76 НВ).

Структура также характеризуется неравномерностью. Область донной части 1 (рис. 2,а) имеет мелкозернистую структуру. Балл зерна 7-9 мкм. Периферийные области донной части 3 (рис. 2,б) имеют более равномерную структуру, но более крупные зерна с баллом зерна 10-12 мкм.

Структуры донной части (рис. 3) под центральным пуансоном в области 4 характеризуется крупнозернистостью с баллом зерна 12-15 мкм. В области 2 в местах перехода от донной к кольцевой части, где наблюдается наибольшая деформация, структура мелкозернистая с баллом зерна 5-7 мкм.

На рисунке 4 приведена структура кольцевой части детали. Со стороны нижней части кольца наблюдается мелкозернистая структура с баллом зерна 5-7 мкм; со стороны торца заготовки – крупнозернистая с баллом зерна 10-12 мкм.

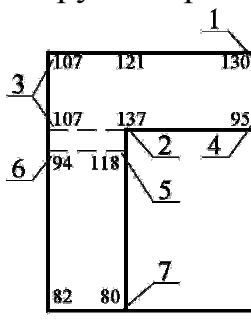
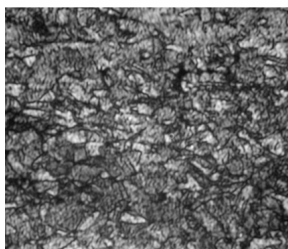
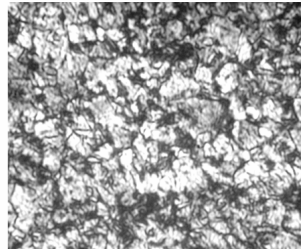


Рис. 1. Распределение твердости по сечению выдавленной заготовки



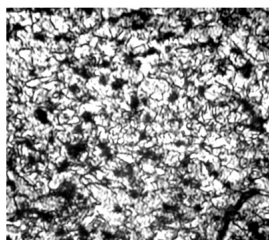
а



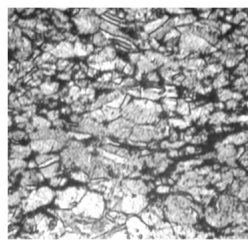
б

Рис. 2. Микроструктура донной части заготовки со стороны пуансона:

а – область 1, б – область 3



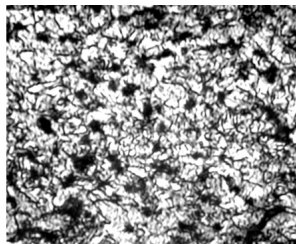
а



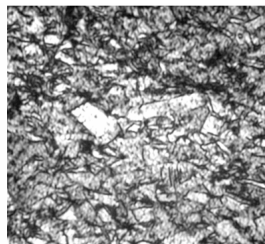
б

Рис. 3. Микроструктура донной части со стороны пуансона:

а – область 2, б – область 4



а



б

Рис. 4. Микроструктура кольцевой части заготовки:

а – область 5; б – область 6

Такое изменение структуры и твердости находится в соответствии с неравномерным деформированным состоянием, которое изучалось методом координатных сеток [3]. В донной части со стороны верхнего пуансона, а также в месте перехода от донной к кольцевой части наблюдается наибольшее искажение координатной сетки, что свидетельствует о больших степенях деформации и обеспечивает высокую твердость и мелкозернистую структуру.

После отжига твердость снизилась до 55-58 НВ со стороны пуансона, 52-54НВ в кольцевой части заготовки, 50-52 НВ в торцевой части и распределена более равномерно. Структура мелкозернистая как в донной, так и в кольцевой части с баллом зерна 2-4 мм.

Таким образом, радиально-прямое выдавливание пористой заготовки оказывает влияние на формирование микроструктуры и твердости при деформировании. Наибольшая степень деформации создает более высокую твердость вследствие измельчения зерна меди. Отжиг уменьшает величину зерна и разнотеристость и приводит к равномерному распределению твердости по сечению заготовки.

Список литературы

1. Горохов В.М. Объемная штамповка порошковых материалов // В.М. Горохов, Е. А. Дорошкевич, Г.М. Ефимов. – Минск: Наука и техника, 1993. – 272с.
2. Дорофеев Ю.Г. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий // Ю. Г. Дорофеев, Б.Г. Гасанов, В.Ю. Дорофеев и др. – М.: Металлургия, 1990. – 206 с.
3. Ryabicheva L. The production technology of hollow details from powder porous billet // L. Ryabicheva, K. Lyubchich, M. Posohova VII International Congress “Machinery, Technology, Materials”, February 18-20, 2010, Sofia, Bulgaria. – P. 126-130.

Сведения об авторах:

Рябичева Людмила Александровна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой;

Дядичев Александр Валерьевич – аспирант.

ИЗМЕНЕНИЕ СИЛЫ СВОБОДНОГО ДОРНОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ПОРИСТОСТИ ПОЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ

Рябичева Л.А., Решетняк Д.В.

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск

Ключевые слова: порошковая пористая заготовка, свободное дорнование, сила, гидростатическое сжатие, пористость.

Аннотация. Рассмотрено влияние исходной пористости цилиндрических полых заготовок из порошковой меди на силу свободного дорнования и плотность. При моделировании использовали вариант теории пластичности пористого тела. Показано, что сила дорнования зависит от исходной пористости заготовки. При меньшей пористости изменение силы дорнования в зависимости от перемещения дорна практически соответствует изменению силы при дорновании компактного материала. При дорновании материала высокой пористости на кривой появляется плато, соответствующее стадии уплотнения и упрочнения при перемещении дорна по высоте отверстия в заготовке. Причиной является структурная деформация. Увеличение плотности заготовки при дорновании обеспечивается увеличением гидростатического сжатия.

CHANGE IN THE FORCE OF FREE MANDREL AT DIFFERENT POROSITY HOLLOW CYLINDRICAL BILLET

Ryabicheva L.A., Reshetnyak D.V.

Vladimir Dahl Lugansk State University, c. Lugansk

Keywords: powder porous billet, free burnishing, force, hydrostatic compression, porosity.

Abstract. The effect of the initial porosity of cylindrical hollow billets made of powdered copper on the force of free and density is considered. In modeling, a variant of the theory of porous body plasticity was used. It is shown that the mandrel force depends on the initial porosity billet. With a lower porosity, the change in the burnishing force depending on the movement of the mandrel practically corresponds to the change in the force during the burnishing of a compact material. When mandreling a material of high porosity, a plateau appears on the curve, corresponding to the stage of compaction and hardening when the mandrel moves along the height of the hole in the billet. The reason is structural deformation. The increase in the density of the billet during burnishing is provided by an increase in hydrostatic compression.

Основное отличие деталей из компактных и порошковых материалов является наличие в заготовке исходной пористости. Обычно заготовка из порошкового материала имеет исходную пористость 15% [1]. Наличие пористости в исходной заготовке оказывает влияние на силу дорнования и качество материала. При свободном дорновании поверхностный слой в отверстии заготовки должен быть высокоплотным упрочненным.

Целью работы является исследование влияния исходной пористости цилиндрических полых заготовок из порошковой меди марки ПМС-1 на силу свободного дорнования и плотность.

Рассматривали свободное дорнование порошковой полый заготовки с исходной пористостью 15% по схеме сжатия. Длина заготовки $L_0 = 20$ мм, наружный диаметр $D = 28$ мм, внутренний диаметр $d = 9,8$ мм. Материал – медь

марки ПМС-1. Натяг дорнования определялся исходным внутренним диаметром полого цилиндра.

Для компьютерного моделирования использовали вариант теории пластичности [2]. В его основе лежит представление о пластическом потенциале, как о функции компонентов тензора напряжений, которому в пространстве напряжений соответствуют гладкая, выпуклая и замкнутая поверхность.

На рисунке 1,а показана схема свободного дорнования полой цилиндрической заготовки, на рисунке 1,б – изменение силы дорнования заготовки с исходной пористостью материала 6, 15 и 24%. Для сравнения приведена кривая силы дорнования заготовки из компактной меди.

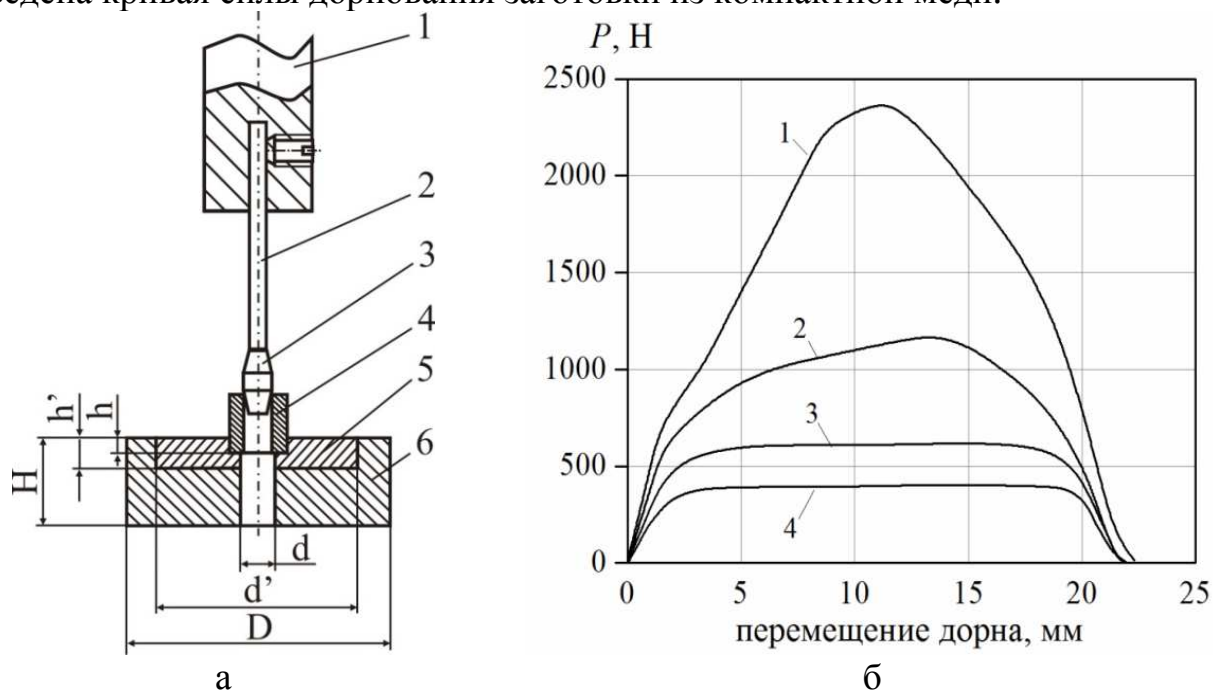


Рис. 1. Схема свободного дорнования – а: 1 – стакан, 2 – штанга, 3 – дорн, 4 – заготовка, 5 – матрица, 6 – обойма; сила дорнования при перемещении дорна в материале с исходной пористостью: 1– компактный, 2 – 6%, 3 – 15%, 4 – 24%

При дорновании отверстия в полой заготовке из компактного материала сила растет, достигая максимальной величины 2400 Н при ходе дорна 12 мм, после чего монотонно снижается. Это связано с тем, что при увеличении силы происходит увеличение объема очага деформации, который уже получил некоторое упрочнение. Дальнейшее движение дорна после максимальной точки приводит к уменьшению силы дорнования. Наличие пористости в материале приводит к значительному снижению силы и появлению плато на кривой. При малых значениях пористости 6 % материал по своим свойствам приближается к компактному. Кривая силы подобна кривой для компактного материала и имеет незначительный максимум. Получена относительная плотность равная 0,97. С увеличением пористости сила уменьшается. При этом на кривых появляется плато, размер которого увеличивается с ростом исходной пористости вследствие увеличения структурной деформации. При исходной пористости 15% – относительная плотность составила 0,93, при 24% – 0,86. В результате структурной деформации происходит укладка частиц порошка в более энергетически выгодное положение.

Объяснение такому изменению силы дорнования и относительной плотности можно получить, анализируя изменение гидростатического сжатия и размеров очага деформации. Максимальные размеры очага деформации и гидростатического сжатия равного 420 МПа получены при дорновании компактного материала.

На рисунке 2 показано распределение гидростатического давления в различные моменты дорнования полой заготовки из порошковой меди с исходной пористостью 15%. Гидростатическое сжатие обеспечивает уменьшение пористости материала [3]. Абсолютная величина давления на контактной поверхности в различные моменты процесса дорнования отличается незначительно (в пределах 10%), поэтому и сила дорнования практически постоянна (рис. 1,б). Размеры очага деформации также максимальны при достижении максимальной силы дорнования (рис. 2,б). На выходе дорна из полой заготовки остается очаг деформации, что, очевидно, влияет на формирование наплывов.

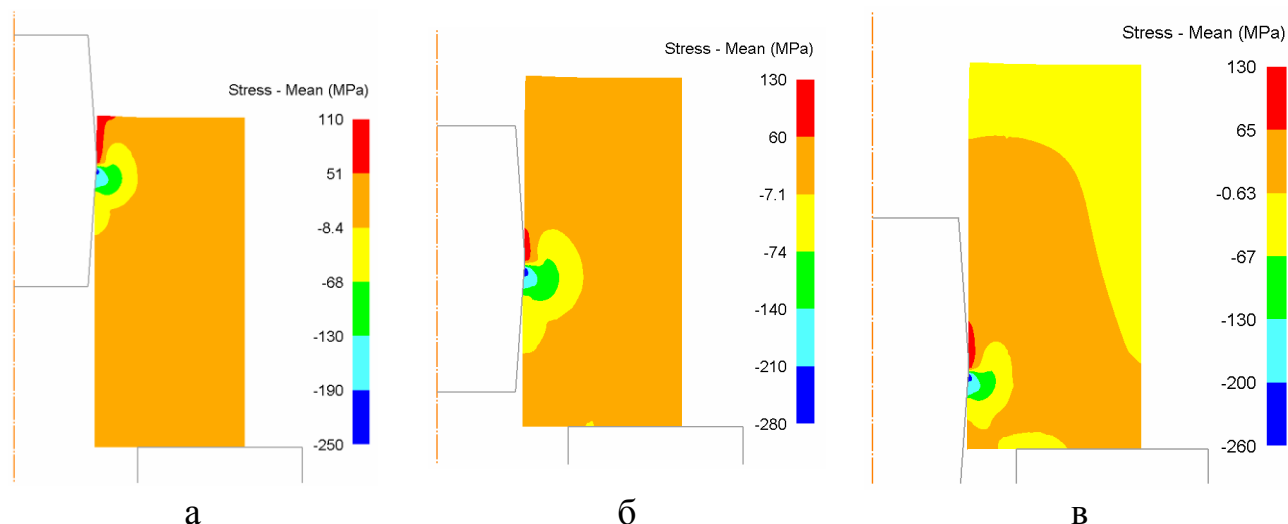


Рис. 2. Эволюция гидростатического давления в очаге деформации при дорновании полого цилиндра из порошкового материала с пористостью 15%

Таким образом, наличие фазы пор обеспечивает сведение к минимуму упругую составляющую и появление структурной деформации. При малых величинах пористости кривая силы подобна компактному материалу, имеет максимальную величину и относительная плотность материала наиболее высокая. С ростом пористости кривая силы не имеет четко выраженного максимума, на кривой появляется плато, что свидетельствует о развитии структурной деформации даже при максимальной величине силы. При этом относительная плотность материала уменьшается. Очаг деформации с ростом силы увеличивает свой объем и при выходе дорна из отверстия он сохраняется. Максимальное гидростатическое давление соответствует максимальной величине силы дорнования и высокой плотности материала.

Список литературы

1. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия / С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.

2. Штерн М.Б. Модифицированные модели деформирования порошковых материалов на основе пластичных и труднодеформируемых порошков / М.Б. Штерн, О.В. Михайлов // Вестник Национального технического университета «Киевский политехнический институт». Серия Машиностроение. 2011. №62. С. 13-19.
3. Shima S. Plasticity theory for porous metals / S. Shima, S.M. Oyane // International Journal of Mechanical Sciences. 1976. Vol.18, Iss. 6. P. 285-291.

Сведения об авторах:

Рябичева Людмила Александровна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой;

Решетняк Денис Вадимович – старший преподаватель.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН ПУТЕМ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

Пищов М.Н., Бельский С.Е., Царук Ф.Ф.

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

Ключевые слова: эксплуатация, детали трансмиссий, лесные машины, износостойкость, зубчатые колеса, поверхностное упрочнение, шероховатость поверхности, микротвердость.

Аннотация. На основании проведенных исследований определены детали трансмиссии, вышедшие из строя в результате интенсивного износа, также установлен механизм их разрушения. Предложена технология их поверхностного упрочнения порошковыми смесями, содержащими бор, алюминий и кремний (борирование и боросилицирование), которая значительно сокращает износ данных деталей, тем самым увеличивает время эксплуатации тяжело нагруженных деталей трансмиссий лесных мобильных машин.

INCREASING WEAR RESISTANCE PARAMETERS OF HEAVY-LOADED PARTS OF FOREST MACHINE TRANSMISSIONS BY THEIR HARDENING

Pishchov M.N., Belsky S.E., Tsaruk F.F.

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Keywords: operation, transmission parts, forest machines, wear resistance, gears, surface hardening, surface roughness, microhardness.

Abstract. On the basis of the studies carried out, the transmission parts that failed as a result of intensive wear were determined, and the mechanism of their destruction was also established. A technology for their surface hardening with powder mixtures containing boron, aluminum and silicon (boriding and borosiliconizing) is proposed, which significantly reduces the wear of these parts, thereby increasing the operating time of heavily loaded transmission parts of forest mobile machines.

В работе приведены результаты исследований кинетики изнашивания образцов из материалов наиболее часто используемых для изготовления различных деталей трансмиссии лесных машин, подверженных различным методам поверхностного упрочнения [1].

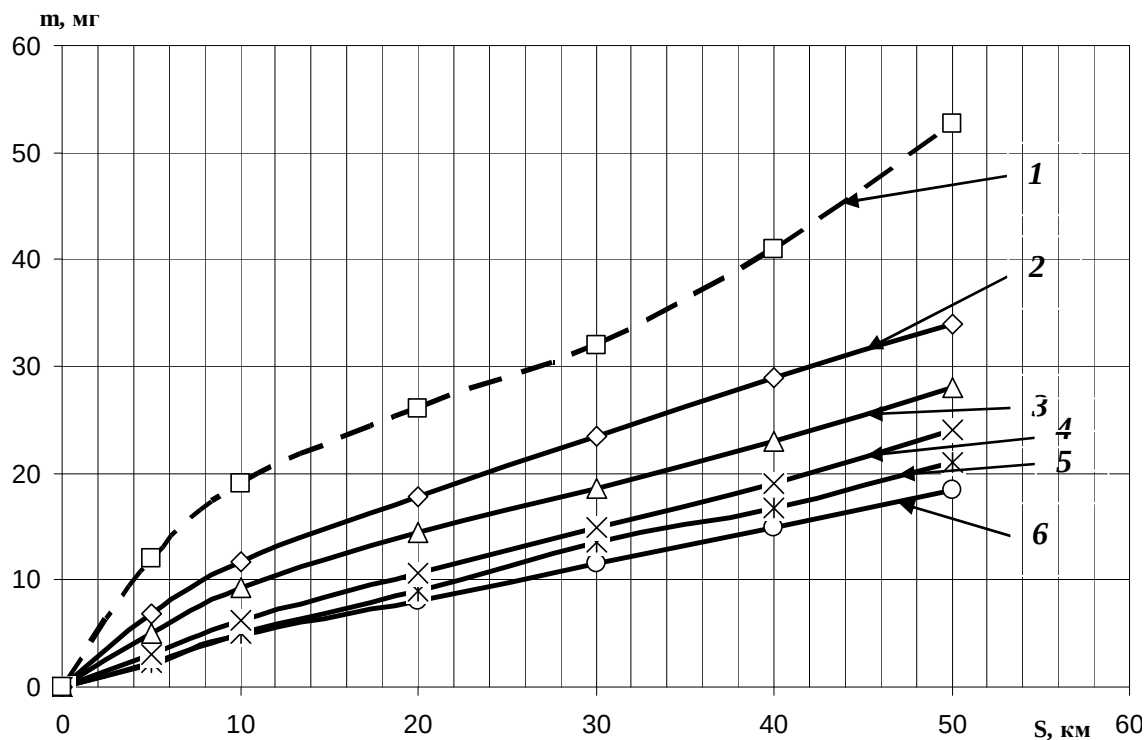
Исследования образцов проводились в режиме полусухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45 прошедших улучшение с последующим поверхностным упрочнением методами борирования и боросилицирования по различным схемам. Для сравнения испытывались образцы из стали 25ХГТ, цементированные по заводской технологии и сталей 40Х и 45 из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45, прошедшие предварительно улучшение и закалку ТВЧ. Температура борирования составляла 950°C, время – 2-4 часа. Боросилицирование осуществлялось при температуре насыщения 950°C, времени насыщения 2-4 часа [2-4].

При проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью HRC 64–66,

поддерживалась постоянной в пределах $Ra\ 1,25$ в результате перешлифовки на заданную шероховатость. Для создания условий, способствующих более интенсивному износу, неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементирования по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Следует отметить, что полученные кривые износа (рис. 1) в целом соответствуют общепринятым представлениям и зависимостям характерным для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения.

Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации (традиционная технология при изготовлении зубчатых колес трансмиссии) характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца.



1–цементация; 2–боросилицирование 2 ч; 3–3,5 ч; 4–4 ч; 5–борирование 3 ч; 6–4 ч

Рис. 1. Изменение величины изнашивания образцов из стали 25ХГТ от пути трения при разных составах сред и времени насыщения (нагрузка 1,155 МПа)

На первом этапе (до 20 км пробега), соответствующем периоду приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание с потерей массы около 50% за весь период испытаний. В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной. При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия [5].

Характер кривых изменения величины изнашивания исследованных образцов из конструкционных сталей 40Х и 45 аналогичен приведенным на рис 1 для стали 25ХГТ при более высокой количественной оценке интенсивности износа.

Список литературы

1. Пищов М.Н., Симанович В.А., Бельский С.Е. Исследование условий эксплуатации и динамической нагруженности деталей трансмиссии трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 113-115.
2. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Минск: Беларусь, 1981. 205с.
3. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С., Фунштейн Я.Н. Борирование порошкообразными смесями // МиТОМ. 1966. № 12. С. 67-69.
4. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Панич Г.Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия. Минск: Наука и техника, 1974. 289 с.
5. Ситкевич М.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин // Литье и металлургия. 2008 С. 140-146.

Сведения об авторах:

Пищов Михаил Николаевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем;

Бельский Сергей Евграфович – к.т.н., доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем;

Царук Федор Федорович – к.т.н., доцент, доцент кафедры Материаловедение и проектирование технических систем.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ГТД

Воронов В.А., Семенов А.Н.

*Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева, Рыбинск*

Ключевые слова: аддитивные технологии, термоформование, композитный материал, 3D-печать, повышение технологичности, газотурбинный двигатель.

Аннотация. Проведен обзор возможностей использования гибридной технологии на основе применения термоформования и 3D-печати из полимерно-композиционного материала для повышения технологичности получаемых деталей. Применение данной технологии позволит изготавливать детали за короткое время, с минимальными затратами всех ресурсов в сравнении с деталями из металла.

INCREASING THE MANUFACTURABILITY OF GAS TURBINE ENGINE PARTS USING HYBRID TECHNOLOGY BASED ON ADDITIVE TECHNOLOGIES FROM POLYMER COMPOSITE MATERIAL

Voronov A.V., Semenov A.N.

P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk

Keywords: additive technologies, thermoforming, composite materials, 3D printing, process improvement, gas turbine engine.

Abstract. A review was made of the possibility of using a hybrid technology based on the use of thermoforming and 3D printing from a polymer composite material to improve the manufacturability of the parts obtained. The analysis of this technology will make it possible to manufacture parts in a short time, with a minimum expenditure of all resources in comparison with metal parts.

Достижение высоких удельных характеристик газотурбинного авиационного двигателя (ГТД) основано не только на повышении конструктивного совершенства, но и на широком внедрении современных материалов на основе гибридных технологий, обеспечивающих повышение технологичности конструкции деталей. Мировой и отечественный опыт демонстрирует целесообразность применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в ГТД, которые позволяют значительно снизить вес деталей. ПКМ начинают широко использоваться в таких элементах «холодной» части двигателя, как компрессор, внешняя обвязка, что связано с ограничением подобных материалов по температуре эксплуатации.

Масса компрессора ГТД может варьироваться в пределах от 35 до 50% от всей массы двигателя. К деталям, которые можно изготавливать из ПКМ относятся лопатки вентилятора, кок, корпус вентилятора, стекатель верхний и стекатель нижний, корпус разделителя потока, звукопоглощающие панели и т.д., вносящие существенную долю в конструкционную массу ГТД [1].

Помимо высокой массы входного устройства и компрессора велика и доля трудоемкость их изготовления из традиционных материалов, достигающая 20-30% всей трудоемкости. Поэтому, проектирование и изготовление деталей из

ПКМ, не уступающих по прочностным и эксплуатационным свойствам деталям из металла, но имеющих существенно меньший вес, является важной тенденцией создания современных ГТД. Применение ПКМ индивидуально для каждой детали в зависимости от условий эксплуатации и функциональных нагрузок, поэтому могут использоваться разнообразные технологии, основные из которых представлены на рисунке 1.

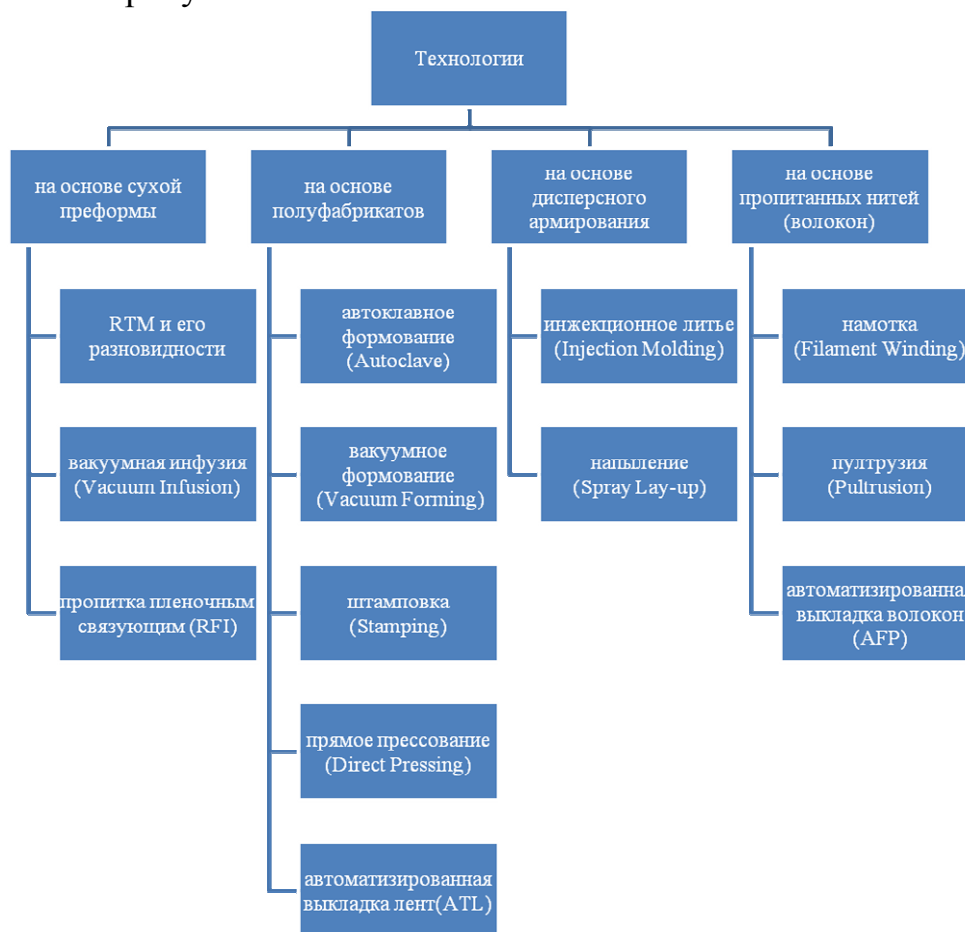


Рис. 1. Технологии изготовления деталей из ПКМ

Прогрессивным направлением, которым определяется уровень авиадвигателестроения, также является совокупность аддитивных технологий (АТ). АТ позволяют производить детали в короткий промежуток времени, причем геометрическая сложность детали не влияет на процесс изготовления [2]. Процесс создания происходит на основе компьютерной 3D модели путем послойного добавления материала. Использование АТ позволяет оптимизировать затраты труда за счет снижения времени изготовления и энергетических ресурсов, количества персонала в производственном процессе и т.д.

Комбинация двух или более компонентов, обычно наполнителя и связующего, использование нескольких технологий, например, термоформования из ПКМ и 3D печати, может дать синергетический эффект в виде гибридной технологии. Изготовление деталей из ПКМ часто не предоставляется возможным в связи со сложностью их геометрии и ограниченностью технологии. Совместное применение аддитивной технологии может позволить изготавливать на термоштамповочной заготовке такие дополнительные элементы как бобышки, ребра, решетки и т.д. Общий цикл гибридного процесса представлен на рисунке 2.

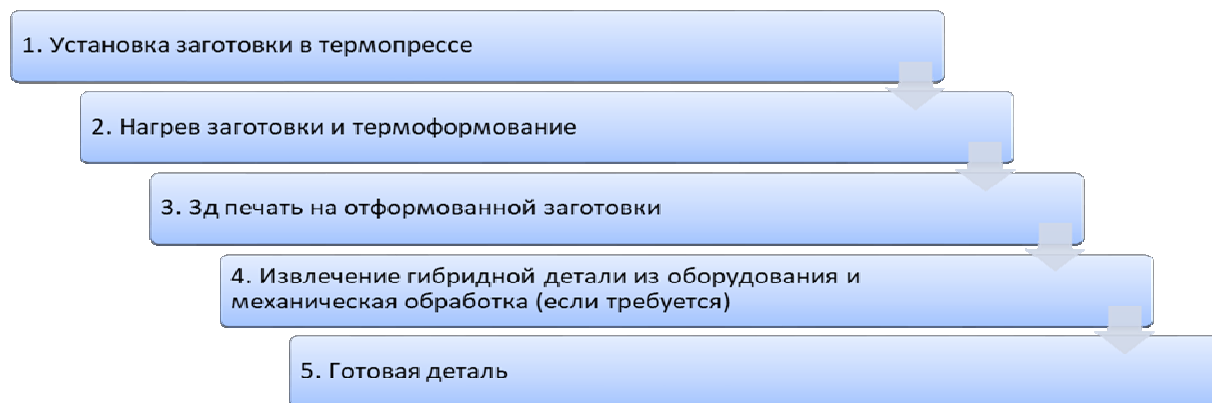


Рис. 2. Основные этапы гибридной технологии из ПКМ+АД

Список литературы

1. Ремизов А.Е., Шмотин Ю.Н., Карелин О.О., Применение композитов в конструкции ГТД. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2015. – 80с.
2. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2013. – С. 10-17.
3. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Колесников С.А., Васильев Ю.Н. Неметаллические композиционные материалы в элементах конструкции и производстве авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 302-305.

Сведения об авторах:

Воронов Владислав Алексеевич – аспирант;

Семенов Александр Николаевич – д.т.н., профессор.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОДИСКОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

Иванова Г.В., Ли Цзе, Тарасенко Е.А.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: фрикционные муфты, коэффициент трения, изнашивание, допускаемое давление.

Аннотация. Работа посвящена исследованию характеристик и повышению износостойкости фрикционных муфт. Целью работы является повышение долговечности оборудования за счет применения конструктивных решений по модернизации муфт, направленных на повышение износостойкости его элементов. Для многодисковой фрикционной муфты получены зависимости силы прижатия от коэффициента трения на поверхности пар трения, проведен расчет дисков на износостойкость, выполненных из различных конструкционных материалов.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF SORTING EQUIPMENT FOR SEPARATION OF MATERIAL BY LARGE

Ivanova G.V., Li Jie, Tarasenko E.A.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: friction clutches, coefficient of friction, wear, allowable pressure.

Abstract. The work is devoted to the study of the characteristics and increase the wear resistance of friction clutches. The aim of the work is to increase the durability of equipment through the use of design solutions for the modernization of couplings aimed at increasing the wear resistance of its elements. For a multi-disk friction clutch, the dependences of the pressing force on the friction coefficient on the surface of friction pairs were obtained, and the calculation of wear resistance of disks made of various structural materials was carried out.

Фрикционные муфты применяют при частых включениях и выключениях исполнительных механизмов при включенном главном приводе. Они обеспечивают плавное сцепление ведомого вала с вращающимся ведущим, при перегрузках должны пробуксовывать, предохраняя механизмы от поломок [1, 2].

Широкое применение находят многодисковые фрикционные муфты (рис. 1). Диски 3 имеют внутренние зубья и связаны с полумуфтой 1, а диски 4 своими наружными зубьями зацепляются с внутренними зубьями полумуфты 2. Крутящий момент от вала I к валу II передается за счет сил трения между дисками 3 и 4, сжатыми силой p , которая может быть получена от механического, гидравлического, пневматического или электрического устройств.

В основе выбора материала фрикционной муфты лежат следующие свойства.

1. Большой коэффициент трения и стабильная работа.
2. Высокая прочность.
3. Хорошая износостойкость, высокая термостойкость, коррозионная стойкость и теплопроводность.

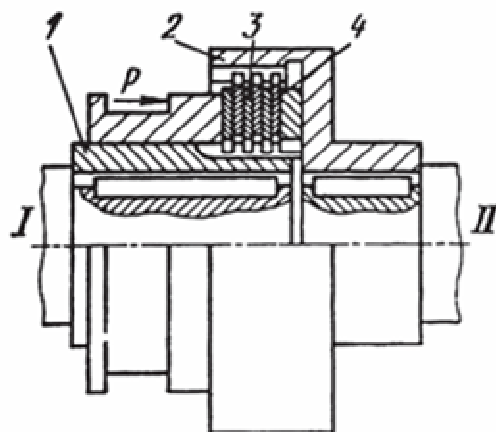


Рис. 1. Многодисковая фрикционная муфта

Для исследования муфт были выбраны следующие фрикционные материалы: металлокерамика, Сч35, асбест, ретинакс А, ретинакс Б.

В работе представлены результаты расчета параметров многодисковой фрикционной муфты для передачи мощности $P=3.5 \text{ кВт}$ при угловой скорости $\omega=50 \text{ рад/с}$. Муфта работает при переменной нагрузке. Число ведущих дисков, $z_1=9$, ведомых $z_2=10$. Диаметры дисков $D_1=110 \text{ мм}$ и $D_2=82 \text{ мм}$. Коэффициент режима работы муфты при переменной нагрузке принимаем $K=1.7$, $k=1.4$.

Расчет по определению силы прижатия и проверочный расчет на износостойкость выполнены для материалов фрикционной пары со смазкой и без смазки, значения которых представлены в таблице 1. Алгоритм расчета представлен ниже.

Табл. 1. Коэффициенты трения и допускаемые контактные давления для фрикционных муфт

Материал фрикционной пары	Коэффициент Трения f	Допускаемое давление $[p]$, Н/мм ²
Со смазкой		
Закалённая сталь по закалённой стали	0.06	0.6 – 0.8
Чугун по чугуну или по закалённой стали	0.08	0.6 – 0.8
Текстолит по стали	0.12	0.4 – 0.6
Металлокерамика по стали	0.1	0.8
Без смазки		
Асбест по стали и чугуну	0.3	0.2 – 0.3
Металлокерамика по стали	0.4	0.3
Чугун по чугуну или по закалённой стали	0.15	0.2 – 0.3

Расчетный вращающий момент, передаваемый муфтой:

$$T_{расч} = KT = \frac{KP}{\omega}, \text{ Нм.}$$

Расчетные коэффициенты: f выбираем из таблицы 1, $k=1.4$.

Средний радиус поверхности трения дисков:

$$R_m = \frac{D_1 + D_2}{4}, \text{ мм.}$$

Число пар трущихся поверхностей дисков:

$$z = (z_1 + z_2) - 1.$$

Сила сжатия дисков при включении муфты:

$$F = \frac{T_{расч} k}{f R_m z}, \text{ Н.}$$

Окружная скорость на среднем радиусе поверхности трения дисков:

$$v = \omega R_m, \text{ м/с.}$$

Допускаемое давление: $[p_m]$ выбираем по таблице 1.

Расчетное давление на трущихся поверхностях дисков:

$$p_m = \frac{4F}{\pi(D_1^2 - D_2^2)} < [p_m],$$

что удовлетворяет условию износостойкости.

На рисунке 2 показана зависимость усилия прижатия от коэффициента трения материала фрикционной пары со смазкой и без смазки, на рисунке 3 зависимость давления в зоне контакта пар трения от коэффициента трения.

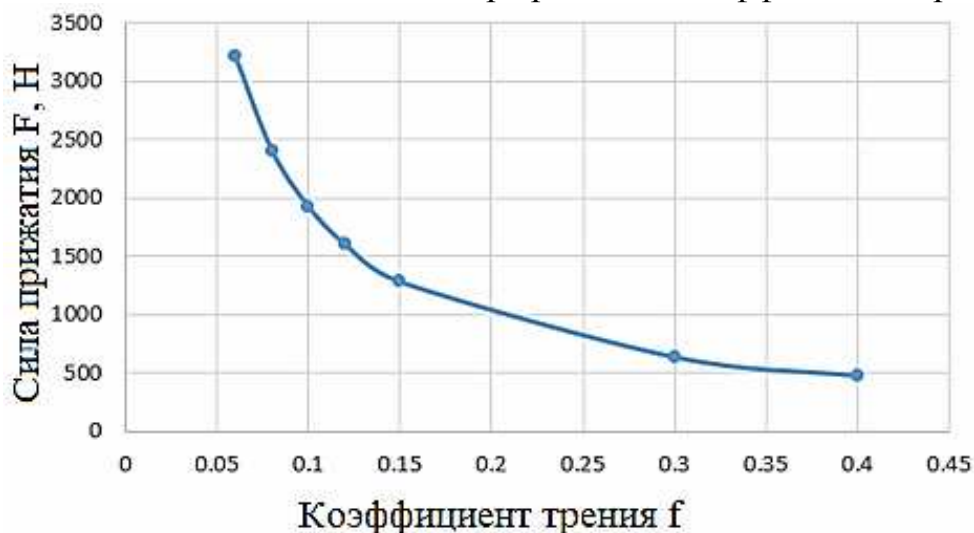


Рис. 2. Зависимость усилия прижатия от коэффициента трения фрикционной пары

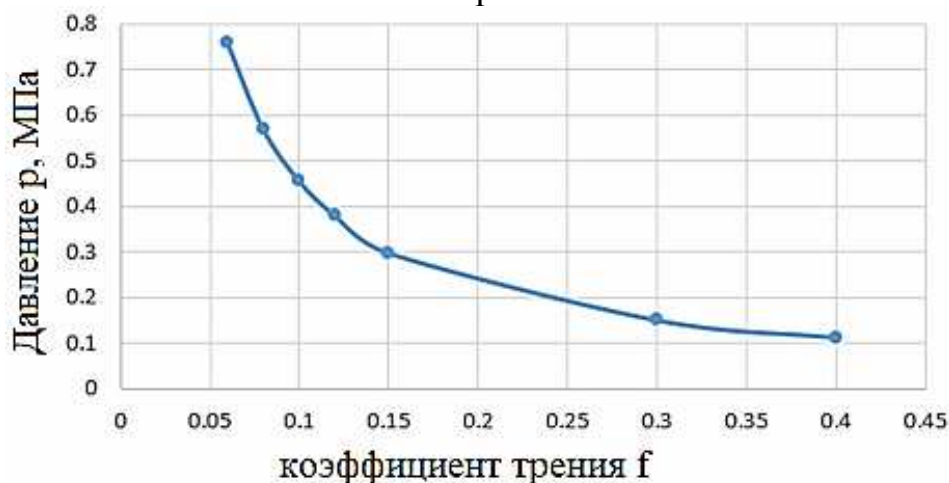


Рис. 3. Зависимость давления от коэффициента трения фрикционной пары

При использовании материалов с большим коэффициентом трения требуется меньшие значения усилия сжатия дисков для передачи вращающего момента, передаваемого муфтой. Наименьшее значение усилия 500 Н и наименьшее давление $0,11 \text{ Н/мм}^2$ соответствует фрикционной паре «металлокерамика по стали» без смазки, наибольшее значение силы 3214 Н и давления $0,76 \text{ Н/мм}^2$ – для сочетания материалов «закалённая сталь по закалённой стали» со смазкой. Для заданных условий работы условие проверки износостойкости выполняется все всех сочетаний фрикционных пар. Для пары «чугун по чугуну или по закалённой стали» без смазки расчетное давление составляет $0,299 \text{ Н/мм}^2$ при величине допускаемого давления $0,2\text{-}0,3 \text{ Н/мм}^2$.

Сила прижатия дисков, давление связаны с диаметральными размерами и количеством поверхностей трения. При проектном расчете муфты число пар трущихся поверхностей и размеры дисков определяются из условия износостойкости по допускаемому давлению пар трения. Оптимальный выбор материалов, размеров муфты положительно влияет на ее работоспособность.

Лабораторные исследования по определению передаваемого момента в зависимости от материала пар трения, количества поверхностей трения, размеров дисков и усилий прижатия можно провести на установке (рис. 4) для испытаний принципиальная схема которой и методика испытаний приведены в работе 3, что позволит сравнить теоретические расчеты и экспериментальные данные, полученные в ходе испытаний [3].

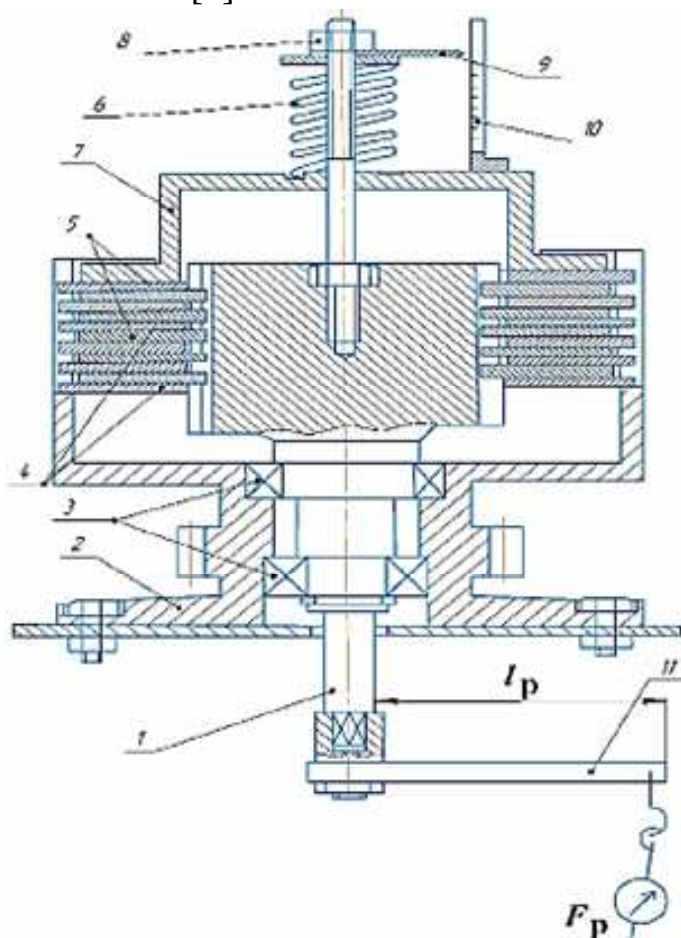


Рис. 4. Схема установки для исследования работы многодисковой фрикционной муфты

Список литературы

1. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб для вузов. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1986. – 359с.
2. Кукаленко Б.Д. Детали машин и основы конструирования. Муфты приводов. Конструкции и расчет соединительных муфт [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.Д. Кукаленко, Е.В. Заборский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – URL:<http://elib.spbstu.ru/dl/2/s16-87.pdf>.
3. Фрикционные многодисковые муфты [Электронный ресурс]. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/347182151.pdf>

Сведения об авторах:

Иванова Галина Валерьевна – старший преподаватель;

Ли Цзе – магистр;

Тарасенко Елена Александровна – доцент.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Семенов А.Н., Василенкова Е.М.

*Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева, Рыбинск*

Ключевые слова: сборка, точность, качество, механизмы, избыточные связи, негативные реакции, статическая неопределенность.

Аннотация. Рассматриваются особенности сборки изделий машиностроения сложной пространственной формы. Показано, что вследствие силового сборочного и эксплуатационного замыкания узлов и механизмов между деталями могут возникать дополнительные механические связи, приводящие к появлению статической неопределимости. Статически неопределимые системы характеризуются существенной зависимостью от изменения внешних условий, что приводит к снижению работоспособности.

ENSURING THE QUALITY OF ASSEMBLY OF PRODUCTS OF SPATIAL CONFIGURATION

Semenov A.N., Vasilenkova E.M.

Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk

Keywords: assembly, accuracy, quality, mechanisms, excessive coupling, negative reactions, static uncertainty.

Abstract. The features of the assembly of mechanical engineering products of complex spatial shape are considered. It is shown that due to the power assembly and operational closure of units and mechanisms between the parts, additional mechanical bonds can occur, leading to the appearance of static indeterminacy. Statistically indeterminate systems are characterized by a significant dependence on changes in external conditions, which leads to a decrease in performance

Завершающим этапом машиностроительного производства является сборка, на которой формируется законченный образ изделия, обеспечивающего его потребительские свойства. На сборочном этапе реализуются результаты всех предшествующих технологических процессов и, в зависимости от индивидуальных особенностей деталей, происходит формирование качественных показателей. Основные проблемы сборки проявляются, как правило, в относительно сложных и высокотехнологичных изделиях в виде нестабильности или несоответствия геометрических и функциональных показателей заявленным требованиям.

Одной из причин является то, что технология сборки в машиностроении является продолжателем научных направлений теоретической и прикладной механики, основы которых заложены на заре развития машиностроения. В тоже время основополагающими основами технологии машиностроения являются разработанные Б.С. Балакшиным [1] теории базирования и размерных цепей. Существующая технология сборки основана на выявлении составных частей и размерном анализе конструкций, с помощью которого назначаются методы

достижения точности замыкающих звеньев и способы сборки: с полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, с пригонкой, с регулировкой.

Все способы сборки основаны на допущениях теории размерных цепей, в которой детали абсолютно жесткими телами без учета особенностей конкретной детали, и невозможности нарушения номинального положения деталей в процессе сборки и в эксплуатации, т.е. не учитываются сборочные взаимодействия деталей и структура механизмов.

Теория базирования основана на принципе соблюдении правила «шести точек». Но в реальных машиностроительных конструкциях очень часто детали базируются одновременно по нескольким поверхностям, используются дополнительные элементы и мероприятия, которые уменьшают контактные давления, повышают допустимую нагрузку на соединения, жесткость и снижают износ трущихся пар, что нарушает теоретические схемы базирования.

Возникающие дополнительные связи оказывают большое влияние на работоспособность пространственных узлов и механизмов с номинально разомкнутым контуром и, особенно, на те, в которых в процессе работы структурная схема преобразуется в замкнутое состояние. Причиной нарушения точности и снижения эксплуатационных свойств является возникновение дополнительных избыточных механических связей, которые при силовом сборочном или эксплуатационном взаимодействии формируют соответствующие негативные реакции.

Наличие избыточных связей в механизмах приводит к погрешностям возможных положений деталей после их монтажа и статической неопределимости механизма с соответствующими последствиями (рис. 1).

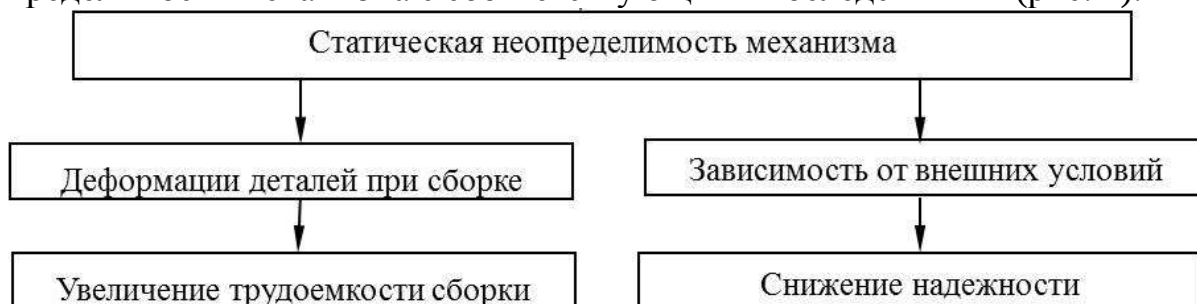


Рис. 1. Особенности влияния избыточных связей механизмов на формирование качества сборки и эксплуатационные показатели

Возможными путями решения проблемы повышения работоспособности являются мероприятия, предложенные Решетовым Л.Н. [2]: повышение класса кинематических пар, увеличивающие их подвижность; применение принципа самоустанавливаемости деталей, которые не всегда применимы и обеспечивают положительный результат вследствие низкой технологичности и высокой трудоемкости изготовления.

Схему действий при анализе механизма с пространственным контуром на предмет разработки технологии сборки можно представить следующим образом.

1. Выявляются избыточные связи между элементами механизма.
2. Определяется кинематическая пара, замыкающая сборку.

3. Определяются возможные отклонения замыкающего звена на основе размерного расчета.

4. Разрабатываются мероприятия по снижению влияния негативных реакций избыточных связей [3].

Список литературы

1. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. В 2-х кн. – М.: Машиностроение, 1982.
2. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
3. Семенов А.Н. Закономерности базирования деталей в сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. №3. С. 3-7.

Сведения об авторах:

Семенов Александр Николаевич – д.т.н., профессор;

Василенкова Екатерина Максимовна – студент.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КРУЧЕНИИ СПЛОШНОГО ОБРАЗЦА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6

Шишкин Д.О., Петров П.А.

Московский политехнический университет, Москва

Ключевые слова: алюминиевый сплав, АМг6, испытание на кручение, локализация деформации, кривая упрочнения, автоматизация обработки экспериментальных данных.

Аннотация. В данной работе проведена экспериментальная проверка гипотезы о локализации деформации при кручении сплошного конического образца до разрушения при температуре 20°C. По результатам испытания на кручения получены исходные данные для определения кривой упрочнения сплава АМг6 и его математической модели для последующего применения при компьютерном имитационном моделировании.

EXPERIMENTAL STUDY OF STRAIN LOCALIZATION DURING TORSION OF A SOLID SAMPLE OF ALUMINUM ALLOY AMG6

Shishkin D.O., Petrov P.A.

Moscow Polytechnic University, Moscow

Keywords: aluminum alloy, AMg6, torsion test, hardening curve, strain localization, automation of experimental data processing.

Abstract. In the present paper, an experimental verification of the hypothesis about the localization of the plastic deformation during torsion of a solid conical sample to failure at a temperature of 20°C was carried out. Based on the results of the torsion test, the initial data were obtained to determine the hardening curve of the AMg6 alloy and its mathematical model for subsequent use in computer simulation modeling.

В теории обработки металлов давлением, кривая упрочнения показывает зависимость между сопротивлением пластической деформации и накопленной деформацией. Для получения кривой упрочнения проводится один из следующих трех видов испытаний: испытание на одноосное растяжение, испытание на сжатие, испытание на кручение сплошного цилиндрического образца [1, 2] либо трубчатого образца [3]. В данной работе применяется испытание на кручение для исследования локализации деформации при кручении сплошного конического образца и построения кривой упрочнения в условиях холодной пластической деформации.

Цель данной работы заключается в экспериментальном изучении локализации деформации при кручении сплошного конического образца алюминиевого сплава АМг6 (ГОСТ 4784-2019) при температуре 20°C.

Методика проведения испытания на кручение сплошного конического образца впервые была предложена в работе [4]; является малоизученной и апробирована на образцах углеродистой стали 20Х [5-7].

Испытания проведены на испытательной машине INSTRON E10000 ElectroPuls (г.Москва, МГТУ «СТАНКИН», лаборатории исследований свойств

материалов). К испытательной машине (рис. 1,а) подключена оптическая система измерения полей деформаций CORRELATED SOLUTIONS VIC 3D (рис. 1,б) для анализа полей деформаций в трехмерном пространстве на поверхности образца, а также анализ перемещений посредством методики численной корреляции цифровых изображений.

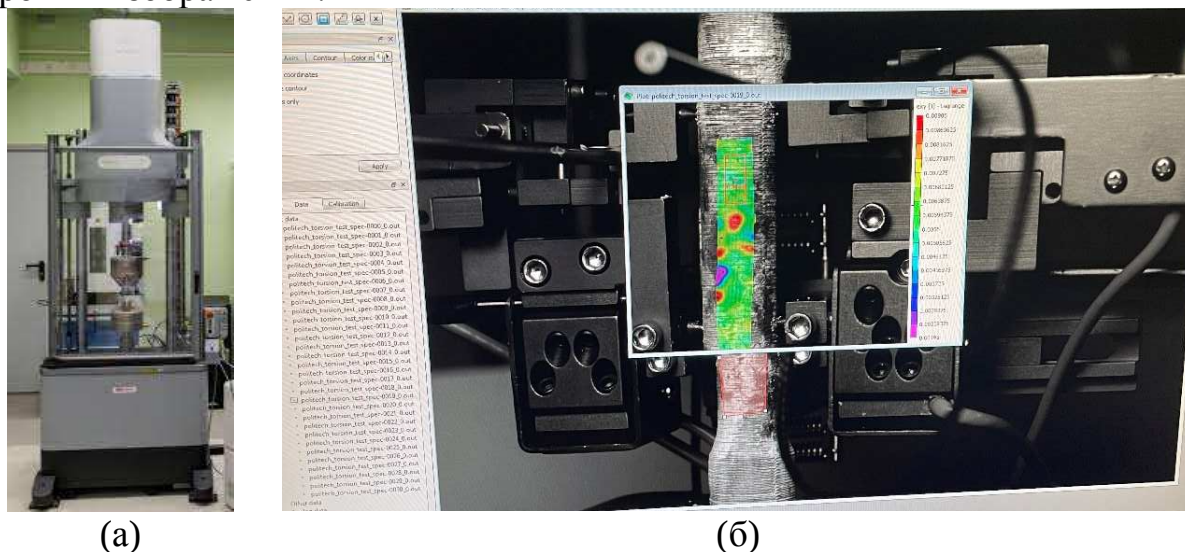


Рис. 1. Испытательная машина (а) и оптическая система измерения полей деформации (б)

В результате проведения испытания на кручение сплошного конического образца сплава АМгб подтвердили гипотезу о локализации деформации в наименьшем сечении образца (рис. 2,а) и получена зависимость крутящего момента (M) от угла поворота (Ω) верхней части образца относительно нижней (рис. 2,б). Разрушение наблюдается при угле поворота $31,92^\circ$.

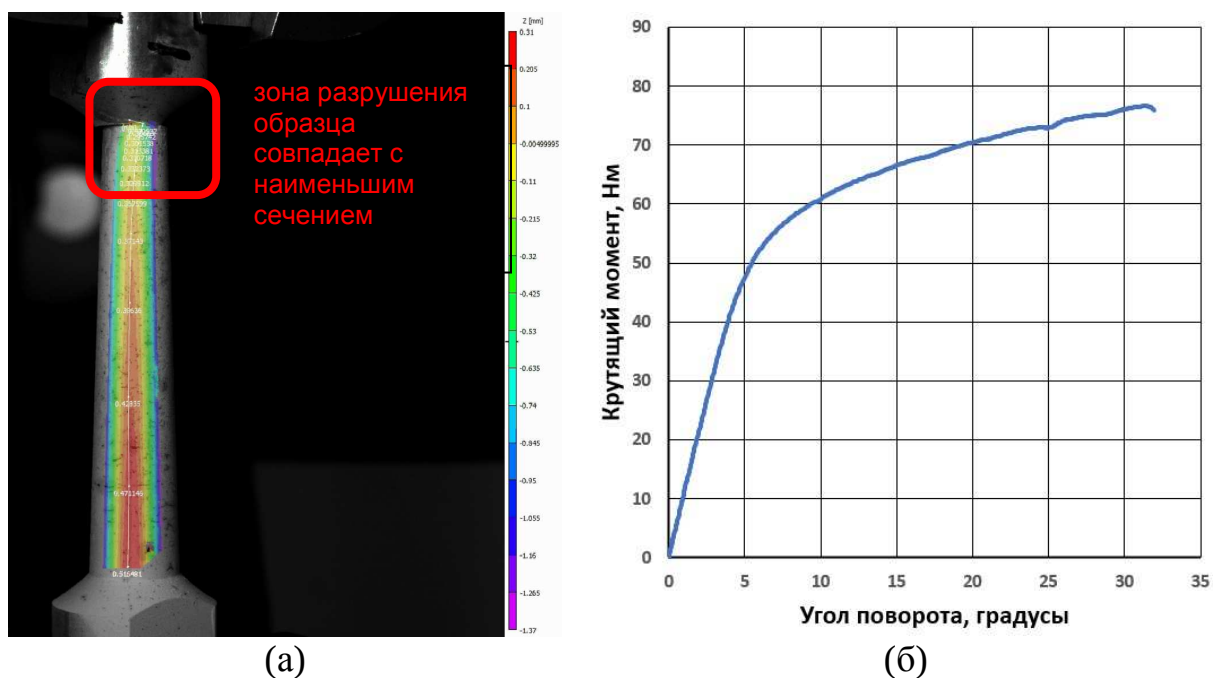


Рис. 2. Результаты испытания: распределение деформации (а) и зависимость M от Ω (б)

Выводы и рекомендации

Результаты испытания показывают, что локализация деформации наблюдается в пределах рабочей длины образца; захваты образца не подвержены деформации.

Полученная экспериментальная зависимость M от Ω позволяет перейти к определению кривой упрочнения по оригинальной методике, рассмотренной в работах [4-7]. Практическое применение кривой упрочнения, построенной по результатам испытания на кручение сплошного конического образца, является определением модели материала для компьютерного имитационного моделирования пластического деформирования сплава АМг6 при температуре 20°C.

Список литературы

1. Sauveur A. Steel at elevated temperatures. Trans. Am. Soc. Steel Treating 1930; 17: 410-448.
2. Рыбалко Ф.П., Якутович М.В. Локализация деформации и определение пластичности стали при кручении и растяжении // Журнал технической физики. 1953. Т. XXIII, вып. 5. С. 771-778.
3. Ромашов В.К., Суяров Д.И. Мера деформации при скручивании трубчатых образцов // Чёрная металлургия. 1969. №8 - 99.
4. Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А. Методика построения кривых упрочнения по результатам испытаний на кручение конических образцов. М.: МГТУ МАМИ, 1998. 12 с.
5. Петров П.А., Калпин Ю.Г., Выдумкина С.В. Методика построения кривых упрочнения по результатам испытаний на кручение конических образцов из стали // Высокопрочные стали для аэрокосмической техники и технологии их производства. Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. 2019. С. 91-101.
6. Petrov, P., Shishkin, D., Kalpin, Y., Burlakov, I., Vydumkina, S., Kapitanenko, D. Determination of the flow curve based on the torsion of conical specimen // Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 50. P. 520-528.
7. Шишкин Д.О., Петров П.А. Применение метода постановки обратной задачи для определения модели материала при холодной деформации стали 20Х // Металлургия XXI столетия глазами молодых. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов: сборник докладов. 2020. С. 184-188.

Сведения об авторах:

Шишкин Дмитрий Олегович – аспирант;

Петров Павел Александрович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии».

КРИТЕРИИ ВЫБОРА СПОСОБА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ ТРУБНОЙ СТАЛИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Мамедов А.Т.¹, Исмаилов Н.Ш.¹, Гусейнов М.Ч.¹, Гулиев Ф.Т.²

¹*Азербайджанский Технический Университет, Баку;*

²*ООО «Baku Steel Company», Баку*

Ключевые слова: внепечная обработка, металлургические критерии, дегазация, десульфурация, легирование.

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы выбора способа внепечной обработки стали, выплавляемой из металлических отходов в электродуговой печи. Указано, что основными критериями при выборе способа внепечной обработки являются металлургические критерии. Установлено, что для компенсации тепловых потерь при внепечной обработке, необходимо произвести дополнительный нагрев шихты вне электродуговой печи. Для улучшения дегазации стали рекомендовано применять вакуумную обработку. Определено, что легирования трубной стали для нефтегазовой промышленности при внепечной обработке позволяет точно выбрать заданный интервал содержания легирующих компонентов.

CRITERIA FOR SELECTING A METHOD OF OUT-OF-FURNACE TREATMENT STEEL FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

Mamedov A.T.¹, Ismailov N.Sh.¹, Guseinov M.Ch.¹, Guliev F.T.²

¹*Azerbaijan Technical University, Baku;*

²*Baku Steel Company” LLC, Baku*

Keywords: out-of-furnace treatment, metallurgical criteria, degassing, desulfurization, alloying.

Abstrat. The paper discusses the issues of choosing a method for out-of-furnace processing of steel smelted from metal waste in an electric arc furnace. It is indicated that metallurgical criteria are the main criteria for choosing out-of-furnace treatment. It was found that to compensate for heat losses during out-of-furnace treatment, it is necessary to perform additional heating of the charge outside the electric arc furnace. To improve the degassing of steel, it is recommended to apply vacuum treatment. It has been established that alloying steel for the oil and gas industry during out-of-furnace processing allows one to accurately select a given range of alloying components content.

Для трубных сталей нефтегазовой промышленности решающее значение имеет чистота металла, которую можно обеспечить только внепечной обработкой. Однако широкомасштабное использование установок для внепечной обработки стали, дальнейшие разработки новых процессов и технологий создали для специалистов достаточно сложные условия выбора наиболее целесообразной схемы внепечной обработки металла [1].

Вместе с тем, обоснованные критерии выбора позволяют в значительной степени определиться с рациональными технологиями и установками, наиболее подходящей внепечной обработки трубных сталей отсутствуют.

Прежде всего, это относится металлургическим критериям, связанные с температурными возможностями обработки, необходимостью дегазации, модификации, удалением неметаллических включений, легирования и др.

Так, например, дополнительный нагрев вне сталеплавильного агрегата позволяет компенсировать тепловые потери при внепечной обработке и более длительной выдержке стали в ковше, а также снизить температуру металла на выпуске из электродуговой печи [2].

Для дегазации и обезуглероживания трубной стали с целью получения особо низких содержаний углерода необходимо, в первую очередь, предусмотреть применение эффективной вакуумной обработки. При этом выбор типа установки вакууматора может быть связан не только с металлургическими параметрами.

Рассматривая возможности десульфурации металла, следует безоговорочно иметь виду выполнение следующих условий: низкий кислородный потенциал в металле и шлаке, основная футеровка, адекватная температура и обеспечение интенсивного перемешивания ванны.

Легирование металла в процессе внепечной обработки позволяет получить точное попадание в заданный интервал содержания легирующего компонента в сочетании с повышением степени усвоения легирующего элемента.

Следующим шагом может быть раздел технологий и установок вторичной металлургии на ковшевые и конвертерного типа, а в последующем на процессы при атмосферном давлении или при пониженном давлении (под вакуумом) [3,4].

В ООО «Baku Steel Company», предусматривается вторичная обработка трубной стали под вакуумом в ковше. Увеличения свободного пространства существующего ковша можно добиться сокращением веса плавки или наращиванием высоты ковша. Безусловно, дальнейшим выходом из положения является приобретение ковшей большой емкости с измененной конструкцией.

Для обеспечения интенсивного перемешивания металла в ковше необходимо проводить продувку металла инертным газом через пористую вставку или верхнюю погружную продувочную фурму.

При решении практических задач, в каждом конкретном случае, выбор способа внепечной обработки определяется требованиями к качеству и свойствам трубной стали, особенностями технологического оборудования и условиями непрерывной разливки.

При этом сложные задачи внепечной обработки могут решаться в двух направлениях [4]:

- на основе модульной системы, при которой отдельные операции осуществляются на различном оборудовании в процессе последовательной транспортировки к ним ковша с обрабатываемым металлом;
- на основе универсальной системы, сочетающей несколько видов внепечной обработки в неподвижном ковше; при этом устройства внепечной обработки могут попеременно транспортироваться к ковшу с обрабатываемым металлом или объединяться в один агрегат, позволяющий одновременно осуществлять несколько видов обработки.

Основное преимущество модульной системы состоит в том, что могут использоваться не все компоненты, входящие в систему, а только те, которые необходимы для достижения конечного результата внепечной обработки.

Преимуществом универсальной системы является возможность значительного сокращения общей продолжительности внепечной обработки. С этой целью при модульной и универсальной системах рекомендуется совмещение операций, необходимых для решения конкретных практических задач внепечной обработки трубной стали.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – грант № EIF-MQM-ETS-2020-1(35)-08/02/1-M-02.

Список литературы

1. Вихлевщук В.А. Ковшевая доводка стали / В.А. Вихлевщук, В.С. Харахулах, С.С. Бродский. Днепропетровск: Системные технологии, 2000. 190 с.
2. Ярошенко Ю.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии. Учебное пособие / Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон, И.Ю. Ходоровская. Под ред. Ю.Г.Ярошенко. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. 670 с.
3. Величко А.Г. Внепечная обработка стали. Днепропетровск: Системные технологии, 2005. 199 с.
4. Величко А.Г., Рахманов С.Р., Бабанлы М.Б., Мамедов А.Т., Байрамов А.Т. Внепечная обработка при производстве высококачественных сталей. Монография. Баку: НМетАУ и АГУНП, 2021. 467 с.

Сведение об авторах:

Мамедов Ариф Тандыг оглы – д.т.н., профессор;

Исмаилов Низами Шайы оглы – д.т.н., профессор;

Гусейнов Мухтар Черкез оглы – к.т.н., доцент;

Гулиев Фаик Тофик оглы – к.т.н., доцент.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР С ДВУХ КОНТУРНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ТЕПЛОВОЕ ИСПЫТАНИЕ

Стулов В.В., Шафиев О.М.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), г.Москва*

Ключевые слова: кристаллизатор, разогрев, электрическая мощность, температура стенок, охлаждение, вода, конденсатор.

Аннотация. Изготовлена запатентованная конструкция стального кристаллизатора с 2-х контурной системой охлаждения для разливки цилиндрических заготовок диаметром 60 мм из алюминиевых сплавов, растрескиваемых в существующих водоохлаждаемых кристаллизаторах. Кристаллизатор оснащается системой электрического нагрева, отсутствующей в существующих конструкциях и предназначенной для прогрева стенок перед разливкой расплава с целью уменьшения напряжений в корочке заготовки и исключения ее растрескивания, а также для моделирования тепловой работы кристаллизатора при подаче воды в кожух конденсатора в случае отсутствия алюминиевого расплава. Измерение температуры нагреваемых стенок осуществляется оптическим пирометром, а температуры охлаждающей воды цифровым термометром.

RESOURCE-SAVING CRYSTALLIZER WITH TWO-LOOP COOLING SYSTEM AND ITS PRELIMINARY THERMAL TEST

Stulov V.V., Shafiev O.M.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keyword: crystallizer, heating, electric power, wall temperature, cooling, water, condenser.

Abstract. A patented design of a steel mold with a 2-loop cooling system was manufactured for casting cylindrical billets with a diameter of 60 mm from aluminum alloys that crack in existing water-cooled molds. The mold is equipped with an electric heating system, which is not available in existing designs and is designed to heat the walls before pouring the melt in order to reduce stresses in the billet shell and prevent its cracking, as well as to simulate the thermal operation of the mold when water is supplied to the condenser casing in the absence of aluminum melt. The temperature of the heated walls is measured with an optical pyrometer, and the temperature of the cooling water with a digital thermometer.

В настоящее время существующие водоохлаждаемые кристаллизаторы машин в принципе не предназначены для организации ресурсосберегающего производства, в частности использования нагреваемой охлаждающей воды на технологические нужды, по причине их конструктивного несовершенства. По этой причине низко потенциальное тепло охлаждающей воды безвозвратно теряется в окружающую среду или в холодильных машинах. Кроме этого, качество поверхности получаемых непрерывнолитых заготовок из средне- и высокотемпературных сплавов зачастую характеризуется трещинами, при водящими, в лучшем случае, к необходимости зачистки поверхности заготовок для последующей их прокатки, а в худшем случае – к отбраковке заготовок на переплав.

На повышение энергоэффективности в промышленности акцентируется внимание в Постановлении Правительства РФ [1].

В процессе моделирования охлаждения низкотемпературного расплава в моделях кристаллизаторов [2] были установлены различные условия контакта корочки со стенкой кристаллизатора, влияющие на качество ее поверхности.

Разработанная, изготовленная и предварительно испытанная с использованием электронагрева конструкция кристаллизатора [3] лишена перечисленных недостатков. Основные параметры изготовленного стального кристаллизатора для разлива алюминиевых сплавов следующие: $d_g = 0,065$ м – внутренний диаметр (диаметр получаемой заготовки), $H_z = 0,3$ м – высота кристаллизатора (высота заготовки), $\delta_{ск} = 0,006$ м – толщина стенки кристаллизатора, $\delta_{скд} = 0,005$ м – толщина стенки конденсатора, $q = 0,5$ МВт/м² – среднее значение плотности теплового потока в кристаллизаторе от разливаемого алюминия, $Q = 30,6 \cdot 10^3$ Вт – тепловой поток в стенку кристаллизатора от разливаемого алюминия, $\lambda = 40$ Вт/(м⁰С) – теплопроводность стенки кристаллизатора (материал – Сталь 20).

Параметры конденсатора: $D_{мс} = 0,12$ м – диаметр тора внутренний, $D_{мн} = 0,32$ м – диаметр тора наружный, $H_{кд} = 0,07$ м – высота, $F_{мс} = 2,64 \cdot 10^{-2}$ м² и $F_{мн} = 7,03 \cdot 10^{-2}$ м² – площадь поверхности тора соответственно внутренняя и наружная.

С учетом параметров кристаллизатора была разработана система ступенчатого электрического нагрева стенки кристаллизатора с использованием трансформатора. Мощность электрического нагрева изменялась в интервале 840 – 5600 Вт. В качестве материала нагревателя использовалась нихромовая спираль $d = 1,5$ мм и сопротивлением $R = 5,6$ Ом. Площадь поверхности нагрева $4,5 \cdot 10^{-2}$ м². Максимальное плотности теплового потока $q = 0,124$ МВт/м². В диапазоне 840–3580 Вт за время нагрева 12 мин. температура наружной стенки кристаллизатора достигла 83⁰С, а паропроводов – 72⁰С. Дальнейшее увеличение электрической мощности в диапазоне 4040–4650 Вт за время 9 мин. позволило увеличить соответствующие температуры до 113⁰С и 105⁰С. На этом разогрев кристаллизатора перед разливкой расплава заканчивается.

Далее для моделирования охлаждения в кожух конденсатора подается холодная вода при изменении электрической мощности в диапазоне 4650–5600 Вт на протяжении $\tau = 65$ мин. Для наблюдения за процессом нагреватель не оборудовался защитным экраном и его температура излучения достигала 800–1000⁰С. При температуре входящей воды $t_{e1} = 11^0$ С, среднем расходе воды $V = 66 \cdot 10^{-3}$ м³/час, средней температуре выходящей воды $t_{e2} = 44$ –47,5⁰С, перепаде температуры воды $\Delta t_g = 33$ –36,5⁰С, среднее значение отводимого водой теплового потока $Q_g = 2744$ Вт. То есть, потери тепла излучением спирали и естественной конвекцией воздуха с поверхности стенок достигают 45–47 %. Практически стабильный отвод тепла холодной водой с поверхности конденсатора на протяжении 65 мин. свидетельствует о требуемом теплообмене и гидродинамике в первом и втором контуре кристаллизатора при заданной нагрузке. После выхода из строя нагревателя при $N = 6120$ Вт температура охлаждающей воды, выходящей из кожуха конденсатора при заданном расходе уменьшалась с 45 до

13⁰С на протяжении 20 мин. Разогрев кристаллизатора с целью герметизации 1-го контура показал, что ступенчатый его разогрев при $N = 680-3050$ Вт на протяжении 60-64 мин. обеспечивает достижение температуры наружной стенки 158⁰С, стенки паропроводов 157⁰С. При этом давление пара в конденсаторе достигает $P_n = 0,6 - 0,65$ МПа.

Полученные предварительные испытания кристаллизатора с электронагревом свидетельствуют о достаточно хорошей его тепловой работе и достаточной механической прочности. Полученные положительные результаты будут использоваться при испытании кристаллизатора на алюминиевых расплавах, а также при проектировании и изготовлении кристаллизатора для разливки стали.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 161 «Об утверждении требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства РФ и отдельных положений некоторых актов Правительства РФ».
2. Стулов В.В., Шафиев О.М. Моделирование затвердевания стальной цилиндрической заготовки // Сталь. 2019. № 3. С. 22-25.
3. Патент № 2739358 РФ. Кристаллизатор для получения непрерывнолитых цилиндрических заготовок из высоколегированных сплавов / В.В. Стулов. – Оpubл. 23.12.2020, Бюл. № 36.

Сведения об авторах:

Стулов Вячеслав Викторович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»;

Шафиев Олег Михайлович – аспирант.

НОВАЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННАЯ ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

*Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г., Банных И.О., Мухина Ю.Э.,
Пруцков М.Е., Баранов Е.Е.*

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, г. Москва*

Ключевые слова: твёрдость, экономно легированная высокоуглеродистая сталь, циклическая обработка холодом, закалка.

Аннотация. Рассмотрены структурные факторы, влияющие на твёрдость стали, а также описаны способы повышения твёрдости и износостойкости низколегированных высокоуглеродистых сталей, предназначенных для работы в условиях абразивного износа. Рассмотрен механизм увеличения твёрдости материала путём многократной (циклической) обработки холодом закаленных на мартенсит высокоуглеродистых сталей. Показано, что четырехкратная обработка холодом (с охлаждением до -70°C) образцов из низколегированной стали 170X2Ф повышает её твёрдость до 67-68HRC. Описаны возможности применения заковки с быстрым электронагревом токами высокой частоты, которая позволяет повысить на 2-4 единицы HRC твердость материала, закалённого путём медленного печного нагрева. Показано, что в случае заковки с быстрым электронагревом, чем дисперснее исходная структура феррито-цементитной смеси и мельче в ней пластинки цементита, тем больше величина прироста твердости.

NEW LOW-ALLOY HIGH-STRENGTH STEEL FOR THE MANUFACTURE OF PRODUCTS OPERATING UNDER CONDITIONS OF INTENSE ABRASIVE WEAR

*Antipov V.I., Vinogradov L.V., Kolmakov A.G., Bannykh I.O., Mukhina Yu.E.,
Prutskov M.E., Baranov E.E.*

*A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Material Science
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: hardness, sparingly alloyed high carbon steel, cold cycling, hardening.

Abstract. Structural factors affecting the hardness of steel are considered, as well as methods for increasing the hardness and wear resistance of low-alloy high-carbon steels intended for operation under abrasive wear conditions are described. The mechanism of increasing the hardness of a material by means of multiple (cyclic) cold treatments of high-carbon steels hardened to martensite is considered. It is shown that four-fold cold treatment (with cooling down to -70°C) of specimens made of low-alloy steel 170Kh2F increases its hardness to 67-68HRC. The possibilities of using hardening with fast electric heating by high-frequency currents are described, which makes it possible to increase the hardness of the material hardened by slow furnace heating by 2-4 HRC units. It is shown that in the case of hardening with rapid electric heating, the more dispersed the initial structure of the ferrite-cementite mixture and the finer the cementite plates in it, the greater the increase in hardness.

Разработка и создание новых высокотвёрдых и износостойких материалов является первостепенной задачей в деле повышения ресурса работы агрегатов и механизмов современной техники. Определяющим фактором, обеспечивающим износостойкость стали, является её твёрдость, которая препятствует протеканию

пластической деформации в поверхностных слоях материалов трущейся пары, а также уменьшает вероятность образования на этой поверхности микронадрезов, наносимых высокотвёрдыми абразивными микрочастицами, повышая, тем самым, износостойкость изделия.

В настоящей работе представлен анализ путей повышения твёрдости и износостойкости недорогих, экономно легированных высокоуглеродистых сталей, пригодных к работе в условиях абразивного износа и больших контактных напряжений.

Одним из способов повышения твёрдости закалённых сталей является их обработка холодом, включая глубокое охлаждение [1, 2]. В ИМЕТ РАН была разработана и реализована технология многократной (циклической) обработки холодом закалённых высокоуглеродистых сталей [3]. Другая возможность повышения твёрдости стальных изделий связана с быстрым электронагревом токами высокой частоты (ТВЧ) проходящим электротоком [4].

Достижение экстремально высоких значений твердости при закалке с быстрым нагревом возможно при формировании аустенита с микронеоднородностью по углероду. В случае быстрого электронагрева со значительным перегревом по температуре в области аустенита необходимо: во-первых, добиться полного растворения частиц (пластин) цементита исходного перлита, а, во-вторых, не допустить перераспределение атомов углерода в образовавшемся аустените. При закалке с быстрым электронагревом, чем дисперснее исходная структура феррито-цементитной смеси, чем мельче в ней пластинки цементита, тем больше величина прироста твердости. В связи с этим было предложено для обеспечения наибольшего прироста твердости перед закалкой с быстрым электронагревом производить предварительную подготовку структуры. Это достигается посредством обычной объёмной закалки с последующим средним отпуском при температуре 400-500⁰С. Образующаяся при этом структура тростита отпуска представляет собой феррито-цементитную смесь высокой степени дисперсности, отвечающую указанным выше требованиям. В ходе проведённых экспериментов на стали 90ХС было установлено, что в ходе её последующей закалки ТПЧ твердость рабочей поверхности материала составила 67,5-68,0 HRC, в то время как в случае объёмной закалки в масле его твердость не превышала 63-64 HRC.

Список литературы

1. Chopra S.A., Sargade V.G. Metallurgy behind the cryogenic treatment of cutting tools: an overview. Mater. Today. Proc. 2015, No2, pp. 1814-1824.
2. Li H., Tong W., Cui J., Zhang H., Chen L. and Zuo L. The influence of deep cryogenic treatment on the properties of high-vanadium alloy steel. Materials Science and Engineering; 2016, A, Vol. 662, pp. 356-362.
3. Патент №2349651 РФ. Способ повышения твердости более 68,0 HRC в изделиях из инструментальных сталей / Банных О.А., Блинов В.М., Зверева Т.Н. и др. – Опубл. 20.03.2009, Бюл. №8.
4. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки. – М: Металлургия, 1969. – 376 с.

Сведения об авторах:

Антипов Валерий Иванович – к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник;

Виноградов Леонид Викторович – к.т.н., ведущий научный сотрудник;

Колмаков Алексей Георгиевич – член-корреспондент РАН, д.т.н., заведующий лабораторией;

Банных Игорь Олегович – д.т.н., заведующий лабораторией;

Мухина Юлия Эдуардовна – к.т.н., научный сотрудник;

Пруцков Михаил Евгеньевич – младший научный сотрудник;

Баранов Евгений Евгеньевич – научный сотрудник.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ОБЪЕМНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ 3D ПЕЧАТИ

*Просвирнин Д.В., Пивоварчик С.В., Пруцков М.Е., Антипов В.И.,
Ковалева Е.Д.*

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, г. Москва*

Ключевые слова: аддитивные технологии, механические характеристики, топология объемного заполнения.

Аннотация. Расчет, моделирование, SLA-печать модельных образцов, изучение механических свойств клеточных матриц, полученных методами аддитивного производства. Определение влияния выбранных параметров на механические характеристики. Анализ полученных результатов, сравнение их с литературными данными. Перспективы применения выбранных топологий при 3D печати промышленных изделий на производстве.

INFLUENCE OF THE TYPE OF BULK FILLING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRODUCT DURING 3D PRINTING

Prosvirnin D.V., Pivovarchik S.V., Prutskov M.E., Antipov V.I., Kovaleva E.D.

*A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Material Science
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: additive technologies, mechanical characteristics, volume filling topology.

Abstract. Calculation, modeling, SLA-printing of model samples, study of the mechanical properties of cell matrices obtained by additive manufacturing methods. Determination of the influence of the selected parameters on the mechanical characteristics. Analysis of the obtained results, their comparison with the literature data. Prospects for the use of selected topologies in 3D printing of industrial products in production.

Аддитивные технологии позволяют производить прочные и легкие изделия и конструкции с геометрией, сложно достижимой традиционными методами производства. Отдельным вопросом стоит задача по выбору подходящих топологий, позволяющих добиться оптимального соотношения массы и требуемого уровня механических свойств [1-2].

Поскольку, в зависимости от топологии, элементы стержневой конструкции будут испытывать сжимающие, растягивающие напряжения, а в некоторых случаях изгибающие нагрузки механические характеристики будут значительно отличаться. В работе изучены основные теоретические обоснования зависимостей между топологией и механическими характеристиками [3]. Для изучения выбран ряд перспективных топологий. Проведен теоретический расчет и моделирование модели изделия (образцов).

Исследована взаимосвязь между типом объемного заполнения (топологией) клеточной матрицы и ее механическими свойствами. Проведена серия экспериментов (сжатие, 3-х точечный изгиб) по изучению механических свойств полученных образцов.

Сделана оценка влияния пористости и ряда других проектируемых параметров (длина стержня, диаметр стержня) на механические характеристики образцов.

Топологии с неотрицательным критерием Максвелла ($M = 0$) составные элементы стержневой конструкции преимущественно испытывают растягивающие и сжимающие нагрузки, а у топологий с отрицательным критерием Максвелла ($M < 0$) стержни преимущественно подвержены изгибающему нагружению.

При увеличении диаметров составных стержней наблюдается рост механических свойств, при этом у топологий с $M \geq 0$ рост значительно выше, чем у топологий с $M < 0$.

Согласно литературным данным и проведенным исследованиям сделаны выводы о том, что применение топологий предрасположенных к деформации растяжения-сжатия ($M \geq 0$) является более перспективным при изготовлении конструкций и изделий методами 3D печати [4, 5].

Работа выполняется в рамках Государственного задания №075-00715-22-00

Список литературы

1. Ievlev V.M., Putlyaev V.I., Safronova T.V., Evdokimov P.V. Additive Technologies for Making Highly Permeable Inorganic Materials with Tailored Morphological Architectonics for Medicine // Inorganic Materials. 2015. P. 1297-1315.
2. Тихонова С.А., Евдокимов П.В., Просвирнин Д.В., Новоселецкая Е.С., Ефименко А.Ю., Путляев В.И. Получение кальцийфосфатной биокерамики с равномерным распределением пор заданного размера // Деформация и разрушение материалов. 2020. № 12. С. 2-7. DOI: 10.31044/1814-4632-2020-12-2-7
3. Геров М.В., Каясова А.О., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Терентьев В.Ф. Механические свойства и особенности разрушения высокопрочной мартенситно-старееющей стали, полученной селективным лазерным сплавлением // Деформация и разрушение материалов. 2021. №9. С.2-10. DOI: 10.31044/1814-4632-2021-9-2-10
4. Преимущества SLA печати: <https://blog.iqb.ru/resins-for-3d-printing/#advantages>
5. Геров М.В., Владиславская Е.Ю., Терентьев В.Ф., Просвирнин Д.В., Колмаков А.Г., Антонова С.В. Исследование усталостной прочности сплава Ti-6Al-4V, полученного методом селективного лазерного плавления // Деформация и разрушение материалов. 2016. №5. С.14-20.

Сведения об авторах:

Просвирнин Дмитрий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник;

Пивоварчик Светлана Владимировна – младший научный сотрудник;

Пруцков Михаил Евгеньевич – младший научный сотрудник;

Антипов Валерий Иванович – к.т.н., старший научный сотрудник;

Ковалева Елена Дмитриевна – младший научный сотрудник.

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ

*Просвирнин Д.В., Колмаков А.Г., Пруцков М.Е., Пивоварчик С.В.,
Антипов В.И., Ковалева Е.Д.*

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, г. Москва*

Ключевые слова: твёрдость, аустенитно-мартенситная сталь, циклическая обработка холодом, TRIP, магнетронное распыление.

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования особенности деформации и механических свойств аустенитно-мартенситной тонколистовой стали с TRIP-эффектом – ВНС-9Ш (23X15H5AM3–Ш) в условиях статического и циклического нагружения, как основа для создания композита с металлическим покрытием. На разных стадиях статического и усталостного нагружения измеряли твердость поверхностного слоя и проводили изменения фазового состава образцов при помощи метода рентгеноструктурного анализа. Проводились сравнения результатов исследования образцов в исходном состоянии и подвергнутых предварительному усталостному нагружению. Создание композитного материала проводилось путем формирования поверхностных слоев, с применением мишеней из химически чистого тантала, титана, циркония, на магнетронной распылительной установке постоянного тока.

DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON AUSTENITIC-MARTENSITIC STEEL

*Prosvirnin D.V., Kolmakov A.G., Prutskov M.E., Pivovarchik S.V., Antipov V.I.,
Kovaleva E.D.*

*A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Material Science
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: hardness, austenitic-martensitic steel, cold cycling, TRIP, magnetron sputtering.

Abstract. Experimental studies of deformation features and mechanical properties of austenitic-martensitic thin sheet steel with TRIP effect – VNS-9-Sh (23Kh15N5AM3-Sh) under static and cyclic loading as a basis for creating a composite with a metal coating were carried out. At the stage of various static and fatigue loadings, the hardness of the explosive layer is measured, and the composition of the samples is changed using X-ray diffraction analysis methods. Comparisons were made between the results of studies in the initial state and the identified signs of chronic fatigue. The creation of a composite material was carried out by forming pulsed layers, using targets from chemical particles of tantalum, titanium, zirconium on a DC magnetron sputtering unit.

Метастабильная высокопрочная аустенитно-мартенситная сталь ВНС-9Ш (23X15H5AM3–Ш) является ярким представителем класса высокопрочных материалов. В последние десятилетия эти стали получили широкое распространение в автомобильной, авиационной и космической промышленности. В связи с особенностью производства данного класса сталей фазовый состав и физико-механические свойства на поверхности и в объёме могут различны, что приводит к нежелательным поверхностным микро- и макроконцентраторам напряжений. Данную сталь планируется использовать как основу для создания композита с металлическим покрытием. Одним из комплексных методов уменьшения негативного влияния поверхностного слоя

является модификация поверхности с использованием ионно-вакуумных технологий при получении композиционного материала [1-2].

В рамках разработки композиционного материала проведен глубокий аналитический обзор литературных источников и на основании полученных данных выбрана сталь ВНС-9Ш, как основа [3-4]. Проведены исследования особенности деформации и механических свойств в условиях статического и циклического нагружения, как в исходном состоянии и подвергнутых предварительному усталостному нагружению при $\sigma_{\max} = 900 \text{ МПа}$ до $N=107$ циклов (на пределе усталости) и при $\sigma_{\max} = 1550 \text{ МПа}$ до $N= 3000$. Для создания поверхностных слоев (модифицирования поверхности) методом магнетронного напыления применяли мишени из химически чистого тантала, титана, циркония. Создание композитного материала проводилось путем формирования поверхностных слоев на установке ВУКУ Multitool TORR International с помощью магнетрона на постоянном токе. Полученные серии образцов композитных материалов были подвергнуты исследованию для сравнения результатов микротвёрдости, статистических механических свойств исходных проволок (поставки) и композитов на их основе. После механического шлифования образцов наблюдается повышение микротвёрдости на поверхности материала на величину порядка 32%, что обусловлено удалением неоднородностей структуры поверхности в результате механической обработки. Образцы со слоями Zr, Ta и Ti толщиной порядка 1-2 мкм показывают повышение микротвёрдости на величину: для композита со слоем Zr на 15%, со слоем Ta на величину около 24% и со слоем из Ti на 16%. Аналогичным образом изменяются и статистические механические свойства.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 20-08-00556А).

Список литературы

1. Вознесенская Н.М., Елисеев Э.А., Капитаненко Д.В., Тонышева О.А. Оптимизация технологических режимов получения тонких листов и ленты из коррозионно-стойкой стали ВНС9-Ш // Металлы. 2014. № 1. С. 46-51.
2. Елисеев Э.А., Терентьев В.Ф., Ерасов В.С., Просвирнин Д.В., Копиев Г.В., Севальнев Г.С., Слизов А.К. Статическая и усталостная прочность проволоки из трип-стали ВНС9-Ш // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 8. С. 29-35.
3. Prosvirnin D.V., Larionov M.S., Pivovarchik S.V., Kolmakov A.G. Structural Features and Strength Behavior of TRIP/TWIP Steels // Inorganic Materials: Applied Research. 2021. Vol. 12. №5. P.1148-1156.
4. Терентьев В.Ф., Просвирнин Д.В., Колмаков А. Г., Ашмарин А.А., Пруцков М.Е., Пивоварчик С.В. Влияние электроэрозионной резки на локальное изменение фазового состава и усталостную прочность тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали // Деформация и разрушение материалов. 2021. №5. С.18-21.

Сведения об авторах:

Просвирнин Дмитрий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник;

Колмаков Алексей Георгиевич – член-корреспондент РАН, д.т.н., заведующий лабораторией;

Пруцков Михаил Евгеньевич – младший научный сотрудник;

Пивоварчик Светлана Владимировна – младший научный сотрудник;

Антипов Валерий Иванович – к.т.н., старший научный сотрудник;

Ковалева Елена Дмитриевна – младший научный сотрудник.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОТОКОМ ИДЕАЛЬНОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Харитонюк И.А., Ермошкина И.Г., Лазько Н.В.

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

Ключевые слова: область динамической неустойчивости, теория оболочек.

Аннотация. Полученная информация о размерах и формах областей динамической неустойчивости (для конкретных оболочек с заданными материалами и геометрическими размерами, при заданной форме колебаний (m, n)) позволяют использовать в технологических процессах частоты возбуждения, безопасные в отношении параметрического резонанса.

METHOD FOR CONSTRUCTING AREAS OF DYNAMIC INSTABILITY OF A CYLINDRICAL SHELL WITH A PULSATING FLOW OF AN IDEAL INCOMPRESSIBLE FLUID

Haritonyuk I.A., Ermoshkina I.G., Lazko N.V.

National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow

Keywords: domain of dynamic instability, shell theory.

Abstract. The obtained information about the sizes and shapes of dynamic instability regions (for specific shells with provided materials and geometrical dimensions, for a given vibration mode (m, n)) makes it possible to use excitation frequencies in technological processes that are safe with respect to parametric resonance.

Задача о параметрических колебаниях тонкостенной цилиндрической оболочки решается на основе геометрически нелинейного варианта полубезмоментной теории оболочек [1-3], развитой в работах В.П. Ильина.

Рассматривая параметрические колебания оболочки с нестационарным потоком жидкости со скоростью, изменяющейся по закону:

$$V(t) = V_0(1 + \mu \cos \gamma t), \quad (1)$$

где μ – параметр возбуждения, γ – частота возмущения (величины μ и γ определяются по паспорту действующих нагнетательных поршневых или центробежных насосов), а также используя теорию потенциального течения жидкости, авторами была получена система разделяющихся уравнений Матье:

$$f''_{(t)} + \omega_{mn}^2(1 - \delta_{mn} \cos \gamma t) \cdot f_{(t)} = 0, \quad (2)$$

где δ_{mn} – называется коэффициентом возбуждения; m и n – волновые числа $m = 1, 2, 3, \dots$ и $n = 1, 2, 3, \dots$

Далее границы областей динамической неустойчивости системы «цилиндрическая оболочка – жидкость» определяются из известной диаграммы Айнса-Стретта [4]. Эта диаграмма строится на плоскости параметров уравнения

Матье « $\frac{\gamma}{2\omega} - \delta$ » и представляет собой ряд заштрихованных областей неустойчивости.

Для выяснения зависимости данных областей от скорости протекающей жидкости используется решение Н.Н.Боголюбова и Ю.А.Митропольского [5] уравнения Матье для трех областей основного параметрического резонанса ($\omega_{mn} = \gamma/2 \cdot K$, где $m=1,2,3$), которое позволяет получить граничную зависимость между квадратом частоты возбуждения γ^2 и средней скоростью V_0 потока жидкости для главной области неустойчивости:

$$\gamma^2 = \frac{4}{K_{mn}} (A_{mn} - (1 \pm \mu) \cdot B_{mn}(V_0)), \quad (3)$$

– для первой второстепенной области неустойчивости:

$$\gamma^2 = \frac{(A_{mn} - B_{mn}(V_0))^3}{K_{mn}} - \frac{1}{\mu^2 B_{mn}^2(V_0) \left(\frac{(A_{mn} - B_{mn}(V_0))^2}{\mu^2 B_{mn}^2(V_0)} + \frac{2}{3} \pm 1 \right)}, \quad (4)$$

– для второй второстепенной области неустойчивости:

$$\gamma^2 = 0,444 \cdot \frac{A_{mn} - B_{mn}(V_0)}{K_{mn}} \frac{1}{1 + 0,0156 \frac{B_{mn}^2(V_0)}{(A_{mn} - B_{mn}(V_0))^2} \pm 0,0158 \frac{B_{mn}^3(V_0)}{(A_{mn} - B_{mn}(V_0))^3}}, \quad (5)$$

В качестве иллюстрации практического применения этого метода исследована динамическая устойчивость длинной стальной трубы с пульсирующим потоком воды.

При первой форме колебаний ($m = 1, n = 1$) при изменении средней скорости потока $0 < V_0 < 30$ м/с данные приведены на рисунке 1. Из рисунка видно, что для реальных скоростей 1-5 м/с области неустойчивости данной трубы остаются довольно малыми. Если скорость потока увеличивается (в некоторых технологических процессах до 50 м/с), то области динамической неустойчивости будут гораздо шире показанных на рисунке 1.

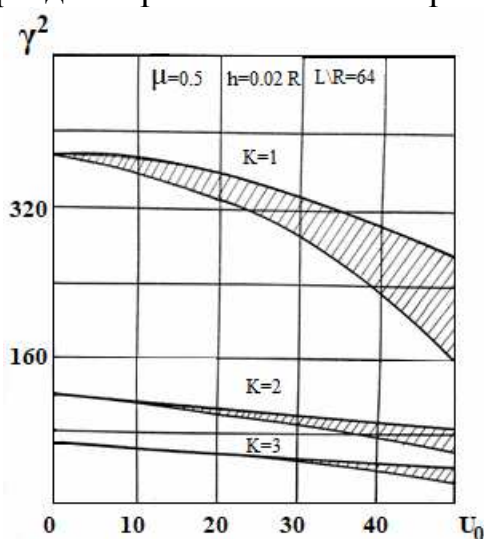


Рис. 1. Области неустойчивости стальной трубы

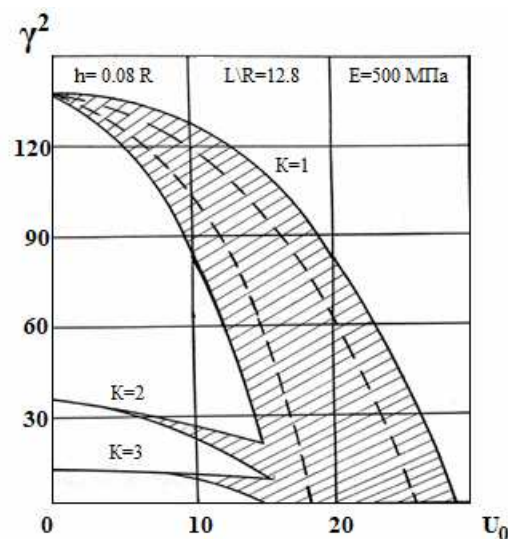


Рис. 2. Области неустойчивости полиэтиленовой трубы

Широкое распространение получили трубопроводы из пластмассы. Модуль упругости у таких труб в сотни раз меньше, чем у стали, а плотность – в десятки раз. Явление параметрического резонанса для таких труб гораздо более опасно, чем для стальных. Исследована динамическая устойчивость длинной трубы из полиэтилена ($L = 32d$). В соответствии с сортаментом [6], приняты следующие размеры поперечного сечения труб: $d_{нар} = 630\text{мм}$, $d_{вн} = 581\text{мм}$; толщина стенки трубы $h = 24,5\text{мм}$. В качестве протекающей жидкости взята вода. Данные по исследованию колебаний, соответствующих первой форме ($m = 1$, $n = 1$), при изменении средней скорости потока жидкости $0 < V_0 < 30$ м/с приведены на рисунке 2. Из последнего рисунка видно, что области неустойчивости расширяются по мере увеличения скорости потока. Увеличение длины оболочки (было проведено сравнение с короткой трубой $L = 6,5d$) также способствует расширению областей динамической неустойчивости.

Список литературы

1. Аксельрад Э.Л., Ильин В.П., Расчет трубопроводов. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
2. Ильин В.П. Об изгибе кривых тонкостенных труб // Механика стержневых систем и сплошных сред. Труды ЛИСИ. – 1966. – Вып. 49. – С. 201-230
3. Ильин В.П. Применение полубезмоментной теории к задачам расчета тонкостенных труб // Проблемы расчета пространственных конструкций. Труды МИСИ. – М., 1980. – С. 45-55.
4. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. – М.: Гостехиздат, 1956. – 600с.
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974. – 503с.
6. Агапкин В.М., Борисов С.Н., Кривошеин Б.Л. Справочное руководство для расчета трубопроводов. – М.: Недра, 1987. – 190 с.

Сведения об авторах:

Харитонюк Ирина Александровна – к.т.н., доцент кафедры робототехники и технической механики;

Ермошкина Ираида Германовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры робототехники и технической механики;

Лазько Нина Викторовна – к.т.н., доцент кафедры робототехники и технической механики.

КЛАССИФИКАТОР ДЛЯ ЛИНИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Данильчук В.С.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург*

Ключевые слова: помольный комплекс, классификация дисперсных материалов, линии пневматического измельчения, агрегат классификации, зона разделения.

Аннотация. В воздушных помольных комплексах в качестве классифицирующего узла используются воздушные классификаторы. В предлагаемой конструкции классификатора, предназначенного для работы в составе помольного комплекса, зона разделения формируется с использованием вращающихся дисков и расположенных на периферии зоны жалюзи, что обеспечивает высокую полноту извлечения целевого продукта при минимальном проскоке и загрязнении продуктов частицами противоположных классов крупности.

CLASSIFIER FOR THE PNEUMATIC GRINDING COMPLEX LINE

Danilchuk V.S.

St. Petersburg State Technological institute (technical university), Saint-Petersburg

Keywords: grinding complex, classification of dispersed materials, pneumatic grinding lines, classification unit, separation zone.

Abstract. In air grinding complexes, air classifiers are used as a classifying unit. In the proposed design of the classifier, designed to work as part of the grinding complex, the separation zone is formed using rotating disks and louvres located on the periphery of the zone, which ensures high completeness of the extraction of the target product with minimal breakthrough and product contamination with particles of opposite size classes.

В воздушных помольных комплексах в качестве классифицирующего узла используются воздушные классификаторы [1]. Недостатком зоны разделения в виде вращающейся «корзины» является неравномерное по высоте поле скоростей и нерациональные условия формирования условий на границе, выражающиеся в значительном разбросе начальных скоростей частиц на входе, что приводит к размыванию граничного размера и проскоку крупных частиц [2].

Вместо вращающихся корзин более предпочтительным выглядит использование узлов классификации или отдельных аппаратов, зона разделения которых формируется из горизонтальных вращающихся дисков. Особенностью конструкции по сравнению с другими аппаратами, имеющими в составе конструкции вращающиеся диски, является наличие системы жалюзи, которая служит для формирования благоприятных условий на границе зоны разделения. Применение дисков совместно с жалюзи позволяет избежать лобовых ударов частиц и сформировать гладкий профиль скорости потока.

Аппарат предназначен для работы в составе помольного комплекса совместно со струйной мельницей, а также самостоятельно в качестве насыпного классификатора. В этом случае агрегат классификации дополнительно включает бункер со шнековым питателем, эжектор для разрушения агломератов и создания

циркуляционного потока, циклон для выделения крупного материала из потока. Примеры создания помольных технологических комплексов, в составе которых может быть использован предлагаемый аппарат приведены в [1,3].

Применение жалюзи и вращающихся дисков обеспечивает формирование благоприятных условий на границе зоны разделения и выполняет несколько функций: способствует равномерному распределению воздуха по поверхности стока в вертикальном направлении; регулирует соотношение радиальной и окружной скорости воздушного потока на границе зоны разделения; направляет частицы твердой фазы в зону разделения, исключая проскок мелких частиц вдоль стенки корпуса мимо зоны разделения.

Включение в состав агрегата классификации эжекторного узла, позволяет обрабатывать склонные к образованию агломератов порошки. Наличие такого узла становится все более важным при классификации по граничным размерам в пределах 2-5 мкм.

Аппарат разработан для классификации высокодисперсных порошков, к дисперсному составу которых предъявляются повышенные требования – таких как карбид кремния, пригодный для резки кремниевых пластин.

Список литературы

1. Вареных Н.М. Химико-технологические агрегаты механической обработки дисперсных материалов / Н.М. Вареных, А.Н. Веригин, В.Г. Джангирян, А.Г. Ишутин. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. – 482 с.
2. Веригин А.Н., Данильчук В.С., Шевчук С.В. Влияние зоны разделения на эффективность классификации дисперсных материалов для порошковых огнетушителей // Вестник Санкт-Петербургского института государственной противопожарной службы МЧС России. – 2002. – С.50-53.
3. Веригин А.Н. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Примеры создания / А.Н. Веригин, В.С. Данильчук, Н.А. Незамаев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2018. – 800с.

Сведения об авторе:

Данильчук Виталий Сергеевич – к.т.н., доцент.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ ПЕРЕКАТЫВАНИЯ СЕМЯН НА НАКЛОННОЙ СЕМЕННОЙ КАЛОДЕ

Рустамов Р.М., Турдалиев В.М., Юлдашев М.А.

Наманганский инженерно – строительный институт, Узбекистан, г. Наманган

Ключевые слова: семя, калода, движение, трение, сила, коэффициент, форма, посев, качение, время, наклон.

Аннотация. В статье кратко проанализировано влияние качества посева на урожайность при выращивании овощных культур и обозначены основные факторы, влияющие на посев. А также, представлены результаты теоретических исследований движения семян мелкосеменных овощных культур по наклонной калоде.

THEORETICAL STUDIES ON DETERMINING THE TIME OF ROLLING SEEDS ON AN INCLINED SEED ROLLING

Rustamov R.M., Turdaliev V.M., Yuldashev M.A.

Namangan Engineering Construction Institute, Uzbekistan, Namangan

Keywords: seed, calode, movement, friction, force, coefficient, shape, seeding, rolling, time, slope.

Abstract. The paper briefly analyzes the influence of the quality of sowing on the yield in the cultivation of vegetable crops and identifies the main factors affecting sowing. And also, the results of theoretical studies of the movement of seeds of small-seeded vegetable crops along an inclined calod are presented.

Качество посева сельскохозяйственных культур обеспечивается распределением семян по площади питания. При этом учитывается не только урожайность растения, но и оптимальное распределение четырех жизненных функций (свет, тепло, вода и микроэлементы) между растениями. В зависимости от этого принимаются расстояния между рядами и между растениями [1, 2].

В работе [3] отмечается, что все виды семянпроводов негативно влияют на равномерность распределения семян в гребне. Поэтому при точном посеве семян необходимо исключить семянпроводов из схемы сеялок или выбрать семянпровода с очень небольшим эффектом.

Однако, поскольку масса и размер семян мелкосеменных овощных культур очень малы, сеялки должны иметь семянпровод. На основе вышеизложенных, рассмотрим движение семян мелкосеменных овощных культур по наклонной калоде.

В исследовании рассмотрим движение семян в наклонной плоскости по схеме, представленной на рисунке 1, а также, будем принимать семян как материальную точку.

По второму закону Ньютона запишем связь между силами в схеме, представленной на рисунке 1

$$G + N + F_{\text{тр}} = ma, \quad (1)$$

где G – сила веса, Н; N – сила реакции, Н; $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; m – масса семян, кг; a – ускорение, м/с².

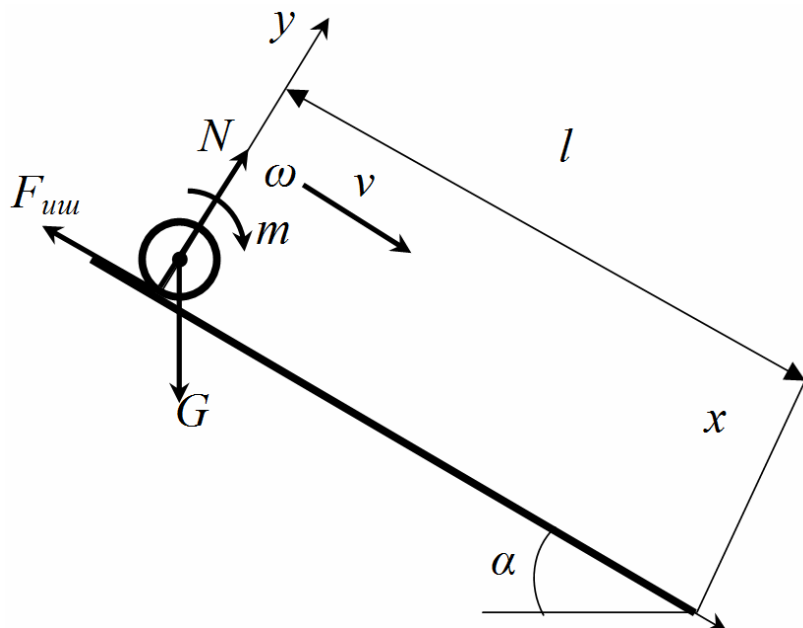


Рис. 1. Схема для исследования движения семени в наклонной плоскости

Запишем проекцию уравнения (1) на оси x и y :

по оси x

$$G \sin \alpha - F_{\text{ттр}} = ma, \quad (2)$$

по оси y

$$-G \cos \alpha + N = 0. \quad (3)$$

Если предположить, что семя катится по наклонной плоскости, то было бы ошибкой выражать силу трения по формуле Кулона-Амонтона. Это потому, что эта формула вкрадывается для процесса трения скольжения. Поэтому определим силу трения при качения следующим образом. По схеме на рисунке 1 единственной силой, заставляющей семя вращаться, является сила трения. Выразим момент трения следующим образом

$$M_{\text{ттр}} = F_{\text{ттр}} r, \quad (4)$$

где r – радиус семени, м.

Если учесть момент инерции семени, то

$$M_{\text{ттр}} = J \varepsilon, \quad (5)$$

где J – момент инерции семени, кгм^2 ; ε – угловая ускорения, $1/\text{с}^2$.

Выразим момент инерции семени следующим образом

$$J = k m r^2, \quad (6)$$

где k – коэффициент, учитывающий форму семени.

Учитывая выражение (6), приравняем выражения (4) и (5)

$$F_{\text{ттр}} r = k m r^2 \varepsilon.$$

Из этого уравнения находим силу трения

$$F_{\text{ттр}} = k m r \varepsilon. \quad (7)$$

Если учесть, что линейное ускорение семян равно $a = r \varepsilon$, то выражение (7) принимает следующий вид

$$F_{\text{ттр}} = k m a. \quad (8)$$

Принимая во внимание выражение (8), уравнение (2) можно переписать так

$$G \sin \alpha - k m a = m a. \quad (9)$$

Учитывая, что сила тяжести $G=mg$, уравнение (9) можно записать следующим образом

$$mg \sin \alpha - kma = ma. \quad (10)$$

Разделим обе части уравнения (10) на m , и в этом случае

$$g \sin \alpha = a(1 + k). \quad (11)$$

Определим a из выражения (11)

$$a_0 = \frac{g \sin \alpha}{(1 + k)}. \quad (12)$$

Тогда, с учетом выражения (12) можно определить силу трения качения

$$F_{\text{тр}}^0 = mg \sin \alpha \frac{k}{(1 + k)}. \quad (13)$$

Время подения семян в процессе посева является важной величиной. Это связано с тем, что важно, чтобы режимы работы рабочих органов сеялок были совместимы друг с другом. Поэтому определяем время падения семян с наклонной плоскости. Если предполагать, что семена не имеет начальной скорости, то выразим длину наклонной плоскости согласно [4] следующим образом

$$l = \frac{at^2}{2}, \quad (14)$$

тогда время определяется следующим образом

$$t = \sqrt{\frac{2l}{a}}. \quad (15)$$

Если учесть выражение (12), то время падения семени, катящегося по семенной колоду, из выражения (15) запишем следующим

$$t_0 = \sqrt{\frac{2l(1 + k)}{g \sin \alpha}}. \quad (16)$$

Для анализа исследования и изучения зависимости времени перекачивания семян по семенной колоду от формы семян, проводим численное решение уравнения (16). Были выбраны следующие значения параметров: $l=60$ см, $\alpha=10^\circ$ - 80° , $k=0$ -1 (рис. 2).

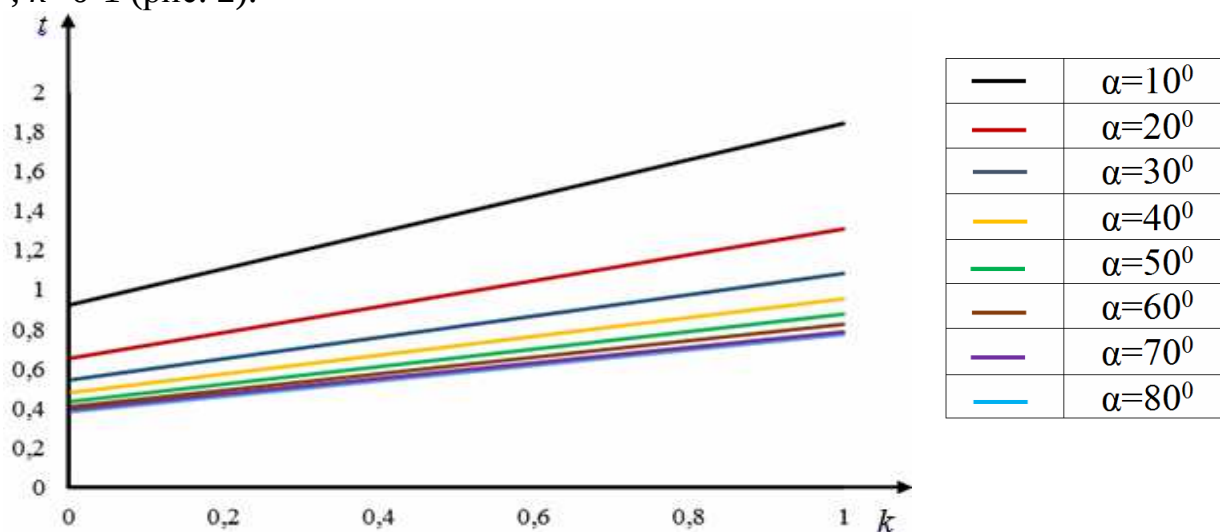


Рис. 1. График зависимости времени прокатывания семени от коэффициента, учитывающего форму семени

Как видно из рисунка 2, при угле наклона семенной колоны 10^0 и значении коэффициента, учитывающего форму семени, от 0 до 1, время скатывания семени линейно увеличилось с 0,92011 с до 1,84023 с.

В заключение можно сказать, что время скатывания семян со семенной колоды изменяются по линейному закону.

Список литературы

1. Kim M., Y., Kopsell D. Nutritional value of crisp head “Iceberg” and Romaine Lettuces (*Lactuca sativa* L.) // Journal of Agricultural Science. Canadian Center of Science and Education. – 2016. – №11. – Р. 5-11.
2. Сочинев С.И. Разработка и обоснование конструктивно-кинематических параметров сошника с роторно-лопастным равкладчиком семян: дисс. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2005. – 149 с.
3. Полонецкий С.Д. О путях совершенствования высевающих аппаратов точного высева // Научные труды Воронежского СХИ. – 1972. – С. 219-220.
4. Явориский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования. – М.: Наука, 1989. – 576 с.

Сведения об авторах:

Рустамов Рахматали Мурадович – д.т.н., доцент, декан “Машиностроительного” факультета;
Турдалиев Вохиджон Махсудович – д.т.н., профессор, профессор кафедры “Общетехнические дисциплины”;
Юлдашев Мухсинжон Акрамжонович – аспирант.

О НЕКОТОРЫХ ИТОГАХ РАЗВИТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Солодовников А.Ю.

Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», г. Тюмень

Ключевые слова: пищевая промышленность, продукция, доля, предприятия, Тюменская область.

Аннотация. В статье рассматриваются итоги развития пищевой промышленности в Тюменской области за период с 2015 по 2020 гг. Было отмечено, что отрасль развивается динамично и ориентируется в основном на местное сырьё. Производство основных продуктов питания увеличивается. Основу отрасли составляют крупные предприятия, ряд из которых по объёмам производства входит в число ведущих предприятий Уральского федерального округа и Российской Федерации.

SOME RESULTS OF FOOD INDUSTRY DEVELOPMENT IN TYUMEN REGION

Solodovnikov A.Yu.

Tyumen department of «SurgutNIPIneft», Tyumen

Keywords: food industry, products, share, production plants, Tyumen region.

Abstract. In this article the results of food industry development in Tyumen region in 2015-2020 are observed. The production plants are mostly oriented to local consumers and products. It develops at high rates. The production of food has increased. Most of the products are produced by big companies including the companies of Ural federal district and Russian Federation.

Общеизвестно, что пищевая промышленность относится к тем отраслям экономики, без которых невозможно существование человеческого общества. И пусть показатели этой отрасли во многих регионах страны скромные по сравнению с такими градообразующими отраслями, как нефтегазовая промышленность, машиностроение и многие другие, это несколько не снижает её ценности. Так как без продуктов питания развитие общества в целом невозможно. Всё вышесказанное относится и к пищевой промышленности Тюменской области, являющейся одной из знаковых отраслей экономики.

Доля пищевой промышленности в объёме отгруженных товаров по области составляет в среднем 4,5%. В ней занято свыше 18 тыс. чел., или 2,5% экономически активного населения (2019). Объём производства продукции отрасли превышает 40 млрд.руб. При этом свыше 90% приходится на производство пищевых продуктов и около 5-7% – напитков, включая минеральные воды. Такое соотношение складывается на протяжении последних нескольких лет. При этом доля продуктов питания в общем производстве пищевой промышленности растёт, напитков – снижается (рис. 1).

Предприятия отрасли ориентированы на выпуск продуктов питания – мяса, молока, других молочных продуктов, рыбы, хлеба и хлебобулочных изделий, кондитерских изделий, муки, круп, комбикорма и др. (табл. 1). По большинству

их них область удовлетворяет свои внутренние потребности. Сырьё в основном местное. В целом отрасль развивается динамично, несмотря на снижение объёмов производства некоторых видов продуктов в отдельные годы, о чём свидетельствуют данные, приведённые в таблице 1.

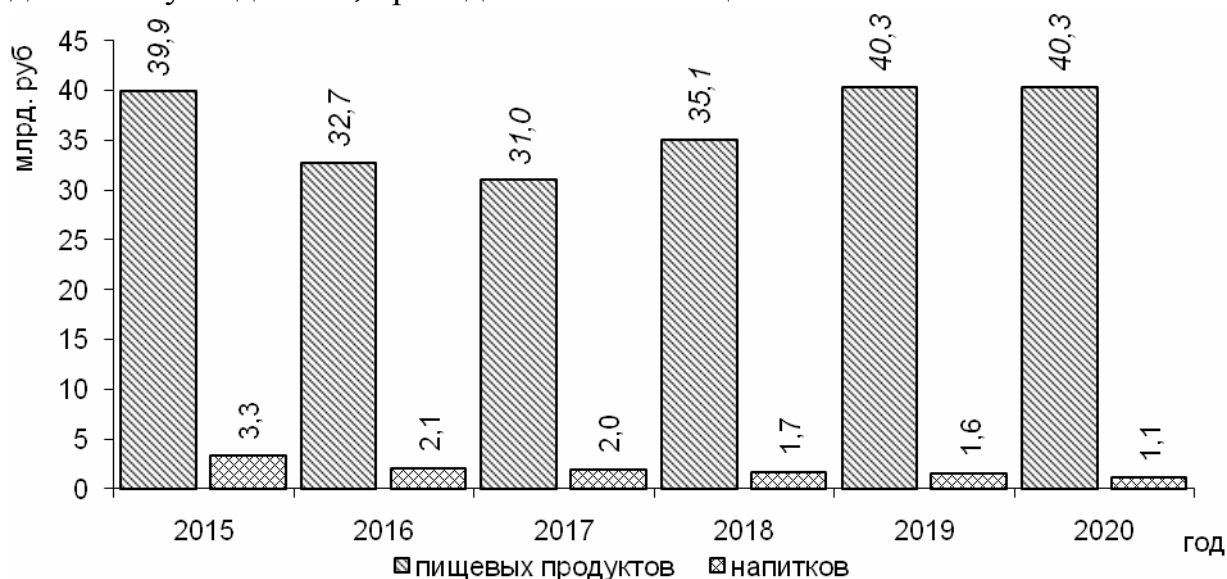


Рис. 1. Объём отгруженных товаров предприятиями пищевой промышленности Тюменской области в 2015-2020 гг., млрд. руб. Источники: составлено по [1, 2]

Табл. 1. Производство основных видов продукции пищевой промышленности в 2015-2020 г., тыс. т

Продукция	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Мясо, кроме птицы	22,2	23,4	22,0	28,1	30,4	33,0
Мясо домашней птицы	32,7	35,1	39,9	47,3	51,5	50,9
Изделия колбасные	17,5	16,9	14,6	13,6	13,5	12,7
Рыба переработанная и консервированная	3,2	3,0	3,3	3,3	2,8	2,7
Молоко	314,9	284,6	127,4	141,5	152,6	146,2
Сливки			7,1	6,9	5,8	5,6
Масло сливочное	2,1	2,2	2,3	2,5	2,4	2,1
Сыры	0,8	1,3	1,3	1,4	1,6	1,5
Творог			13,3	13,8	12,9	13,4
Крупа	5,8	5,3	5,5	6,2	5,4	5,3
Изделия хлебобулочные	74,8	79,6	88,4	90,4	90,9	86,3
Кондитерские изделия	20,7	24,8	23,0	24,2	24,7	22,2
Комбикорма	341,2	322,6	327,9	316,9	319,4	
Напитки безалкогольные, млн полул.	16,7	27,0	40,7	63,6	67,4	67,5

Источник: составлено по: [1-3].

В отрасли действуют около 400 предприятий [4]. Они функционируют во всех городах и почти во всех центрах районных муниципальных образований, а также в некоторых крупных центрах сельских поселений. Значимость некоторых предприятий котируется на уровне Уральского федерального округа и Российской Федерации. Это прежде всего птицефабрики «Боровская» им. А.А. Созонова, «Тюменский бройлер» (п. Каскара) (в составе Группы компаний «Продо»), «Пышминская» (мяса курицы), Абсолют-Агро (индейка).

Таким образом, следует отметить, что пищевая промышленность в Тюменской области относится к числу важнейших отраслей экономики. В своём развитии она опирается на местные сырьевые ресурсы, что позволяет производимой продукции быть конкурентоспособной на своём рынке, испытывающим давление со стороны соседних регионов с более благоприятными природными условиями и более развитой перерабатывающей промышленности.

Список литературы

1. Тюменская область без автономных округов в цифрах: Крат. стат. сб. (веб. версия) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Т., 2017. 76с.
2. Тюменская область (кроме Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) в цифрах: Крат. стат. сб. / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Т., 2021.
3. Статистический ежегодник: Стат. сб. Тюменская область (кроме Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) в 2-х частях. Ч I (II) (1990-2016) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Т., 2020. 322 с.
4. Деловой портал Тюменской области [Электронный ресурс] – URL: <https://www.tyumen-region.ru/support/industry/enterprises/452/>

Сведения об авторе:

Солодовников Александр Юрьевич – доктор географических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отдела Экологии.

Научное периодическое издание

Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№5

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 4,24.

Подписано в печать 27.01.22г. Заказ №22-01.

<https://doi.org/10.26160/2587-7577-2022-5>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,
г.Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru>

E-mail: spbf@srcms.ru