

Том 5 № 3–4 2018

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN 2542-1093 (Online)

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**МАТЕРИАЛЫ ПЯТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Новосибирск, 28 марта 2018 г.

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL ARTICLES

**Proceedings of the Fifth International
Scientific and Practical Conference**

Novosibirsk, 28 March 2018

НОВОСИБИРСК



ОБРАБОТКА

ISSN 1994-6309 (Print)

ISSN 2541-819X (Online)

О МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

«Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» – рецензируемый научно-технический и производственный журнал, издающийся с 1999 года с периодичностью 4 раза в год.

В журнале публикуются в основном результаты оригинальных фундаментальных, прикладных и поисковых научных исследований и аспирантских работ. Значительное внимание уделяется публикациям обзорных, проблемных и дискуссионных работ по актуальным вопросам машиностроения, материаловедения и современной металлургии. Научно-технические статьи, направленные в адрес журнала, проходят рецензирование и редактирование. **Публикация статей бесплатная.**

Журнал предназначен для профессорско-преподавательского состава и научных работников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов, инженерно-технических работников производственных предприятий и проектных организаций.

Присутствуют разделы: «Технология», «Оборудование», «Инструменты», «Материаловедение», «Научно-техническая информация» и др.



В 2017 году журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» вошел в индекс цитирования *Emerging Sources Citation Index (ESCI) базы Web of Science*. Журналы, представленные в индексе цитирования *ESCI*, отвечают большинству базовых критериев *Core Collection* и расцениваются компанией *Clarivate Analytics* как наиболее влиятельные и востребованные издания, имеющие большую вероятность высокого научного интереса.

EBSCO

Полный текст журнала «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» можно найти в базах данных компании EBSCO Publishing) на платформе EBSCOhost. EBSCO Publishing является ведущим мировым агрегатором научных и популярных изданий, а также электронных и аудиокниг.



Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Правила представления статей для публикации и другая информация о журнале размещены на сайте научного издания:



http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



630073, г. Новосибирск, проспект К. Маркса, 20, корп. 5, к. 137 ВЦ



+7 (383) 346-17-75



metal_working@mail.ru

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-23961 от 05 апреля 2006 г.

Print ISSN: 1994-6309 Online ISSN: 2541-819X

Индекс журнала в каталоге агентства «Роспечать» – 70590



НОВОСИБИРСК

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN: 2542-1093 (Online)

5 3-4 2018 .

«

2014 .

- 1

«

»

«

»

31.10.2016 .

().
77-67566.

eLIBRARY.RU.

630073, . . . , 20,

» « (), . 5, . 137 , . . .
(383) 346-17-75

http://journals.nstu.ru/machine-building
E-mail: machine-building@mail.ru

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN: 2542-1093 (Online)

Volume 5 Number 3-4 2018 SCIENTIFIC, TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

Vadim Y. Skeeba, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF:

Dmitry V. Lobanov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Machine-Building Faculty,
I.N. Ulianov Chuvash State University, *Cheboksary*, Russian Federation

Tatyana G. Martynova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Industrial Machinery Design,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

Natalia V. Plotnikova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Department of Material Science in Mechanical Engineering,
Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

CHAIRMAN:

Anatoliy A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor,
Rector, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*, Russian Federation

MEMBERS:

The Federative Republic of Brazil:

Alberto Moreira Jorge Junior, Dr.-Ing., Full Professor, Federal University of Sao Carlos, *Sao Carlos*

The Federal Republic of Germany:

Moniko Greif, Dr.-Ing., Professor, Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, *Russelsheim*

Florian Nurnberger, Dr.-Ing., Chief Engineer and Head of the Department "Technology of Materials",
Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

Thomas Hassel, Dr.-Ing., Head of Underwater Technology Center Hanover, Leibniz Universitat Hannover, *Garbsen*

The Republic of Belarus:

Fyodor I. Panteleenko, D.Sc. (Engineering), Professor, First Vice-Rector,
Corresponding Member of National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian National Technical University, *Minsk*

The Ukraine:

Sergiy V. Kovalevskyy, D.Sc. (Engineering), Professor, Donbass State Engineering Academy, *Kramatorsk*

The Russian Federation:

Gennadiy E. Anisimenko, Director, Scientific and Production company «Sigma-instrument», *Novosibirsk*;

Vladimir G. Atapin, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Victor P. Balkov, Deputy general director, Research and Development Tooling Institute «VNIINSTRUMENT», *Moscow*;

Vladimir A. Bataev, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Vladimir G. Burov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Aleksandr N. Gerasenko, Director, Scientific and Production company «Mashservispribor», *Novosibirsk*;

Vladimir V. Ivancivsky, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Sergey V. Kirsanov, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, *Tomsk*;

Aleksandr N. Korotkov, D.Sc. (Engineering), Professor, Kuzbass State Technical University, *Kemerovo*;

Evgeniy A. Kudryashov, D.Sc. (Engineering), Professor, Southwest State University, *Kursk*;

Aleksey V. Makarov, D.Sc. (Engineering), Senior Researcher, M.N. Miheev Institute of Metal Physics,
Russian Academy of Sciences (Ural Branch), *Yekaterinburg*;

Aleksandr G. Ovcharenko, D.Sc. (Engineering), Professor, Biysk Technological Institute, *Biysk*;

Kharis M. Rakhimyanov, D.Sc. (Engineering), Professor, Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk*;

Yuriy N. Saraev, D.Sc. (Engineering), Professor, Institute of Strength Physics and Materials Science,
Russian Academy of Sciences (Siberian Branch), *Tomsk*;

Alexander S. Yanyushkin, D.Sc. (Engineering), Professor, I.N. Ulianov Chuvash State University, *Cheboksary*

The journal is issued since 2014

Publication frequency - 1 volume a year

Data on the journal are published in eLIBRARY.RU

Edition address: Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,
Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Tel.: (383) 346-17-75

<http://journals.nstu.ru/machine-building>; E-mail: machine-building@mail.ru

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Conference Novosibirsk, 28 March 2018

CONFERENCE ORGANIZERS

- Novosibirsk State Technical University, Scientific, Technical and Industrial Journal "Obrabotka Metallov", Novosibirsk, Russian Federation
- Exhibition company "ITE Siberia", Novosibirsk, Russian Federation

CO-ORGANIZERS

- Hochschule RheinMain University of Applied Sciences, Rüsselsheim, Germany;
- Leibniz Universität Hannover, Garbsen, Germany;
- Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine;
- Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus;
- JSC Novosibirsk Technological, Designing and Experimental Institute "Orgstankinprom", Novosibirsk, Russian Federation;
- LLC Research-and-production and commercial company "Mashservispribor", Novosibirsk, Russian Federation;
- Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russian Federation;
- Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation;
- I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation;
- Biysk Technological Institute, Branch of Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russian Federation;
- Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, Tomsk, Russian Federation;
- National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation;
- Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation.
- I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

HONORARY COMMITTEE

COMMITTEE MEMBERS: *Monico Greif*, Professor, DSc, High School of the Rhine-Main, University of Applied Sciences (Rüsselsheim, Germany), *Thomas Hassell*, Professor, DSc, Wilhelm Leibniz University of Hannover (Garbsen, Germany), *Florian Nürnberger*, Professor, DSc, Hanover Wilhelm Leibniz University (Garbsen, Germany), *Kovalevsky S.V.*, Professor, DSc, DSEA (Kramatorsk, Ukraine), *Panteleenko F.I.*, Professor, DSc, member of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian National Technical University (Minsk, Belarus), *Afanasyev V.K.*, Academy of Natural Sciences, Professor, DSc, SibSIU (Novokuznetsk, Russia), *Burov V.G.*, Professor, DSc., NSTU (Novosibirsk, Russia), *Gerashenko A.N.*, Director of the LLC Research-and-production and commercial company "Mashservispribor" (Novosibirsk, Russia), *Guriev A.M.*, Professor, DSc. AltSTU (Barnaul, Russia), *Kirsanov S.V.*, Professor, DSc, TPU (Tomsk, Russia), *Markov A.M.*, Professor, DSc. Vice Rector of AltSTU (Barnaul, Russia), *Ovcharenko A.G.*, Professor, DSc, Head of Department in BTI AltSTU (Biysk, Russia), *Rassohin V.A.*, General director of the JSC "Shvabe - defense and protection", *Rakhimyanov Kh.M.*, Professor, DSc., Head of Department in NSTU (Novosibirsk, Russia), *Saraev Yu.N.*, Professor, DSc., ISPMS SB RAS (Tomsk, Russia), *Sitnikov A.A.*, Professor, DSc, AltSTU (Barnaul, Russia), *Stetsovsky A.S.*, Exhibition Director, «ITE Siberia» (Novosibirsk, Russia), *Yanyushkin A.S.*, Professor, DSc, Corresponding Member SAN VSH, Academician IHEAS, ChSU (Cheboksary, Russia).

PROGRAMME COMMITTEE

- Bataev A.A.*, editor in chief of Scientific, Technical and Industrial Journal "Obrabotka Metallov", Professor, D.Sc. (Engineering), Rector of Novosibirsk State Technical University (Novosibirsk, Russia), Chairman;
- Korotkov A.N.*, Academician of RAE, Professor, D.Sc. (Engineering), KuzSTU (Kemerovo, Russia), co-chair;
- Atapin V.G.*, Deputy Chief Editor of "Obrabotka Metallov", Professor, D.Sc. (Engineering), NSTU (Novosibirsk, Russia), co-chair.

COMMITTEE MEMBERS: *Ivancivsky V.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia), *Lobanov D.V.*, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, ChSU (Cheboksary, Russia), *Tregubchak P.V.*, Manufacturing manager, JSC "Novosibirsk Switch Plant" (Novosibirsk, Russia), *Yanpolskiy V.V.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Dean, Faculty of Mechanical Engineering and Technologies, NSTU (Novosibirsk, Russia).

ORGANIZING COMMITTEE

- Skeeba V.Yu.*, Deputy Chief Editor of "Obrabotka Metallov", Ph.D. (Engineering), Associate Professor, NSTU (Novosibirsk, Russia);
- Lashutina E.N.*, Head of Directorate Industry Exhibitions, «ITE Siberia» (Novosibirsk, Russia).

SUBJECT OF THE CONFERENCE

- Innovative Technologies in Mechanical Engineering;
- Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments;
- Materials Science in Machine Building;
- Economics and Organization of the Business Innovative Processes in Engineering.

Маркова М.И., Негруленко Д.Н.	9
-	
• ” • ” « » • •	15
• •	20
• ” • ” • ” • •	24
• ” • ” • ” • ” • •	30
• ” • ” • •	36
• ” 45 • •	45
,	
• ” • ” • ” • ” • •	51
• ” • ” • ” • •	59
• ” • ” • ” • •	67
• ” • ” • ” • •	75
• ” • ” « » • •	84
• ” • •	89
• ” • •	95
• Ti-Nb	100
• ” • •	106

-			4	
• ”	• ”	• ”	• •	113
• ”	• ”	• •		118
• ”	NbC	• ”	12 18 9	, 125
12 18 9	• ”	TiC	• •	- 131
• ”	• ”	• ”	• •	137
• •				144
				149
				151
				153

CONTENTS

Innovative Technologies in Mechanical Engineering

Markova M.I., Negrulenko D.N. The method of designing the operations for machining complex profile surfaces	9
Vereshchagina A. S., Ivanova M.V., Kharitonov A.A. Justification of the choice of a method of receiving preparation of a detail "Case"	15
Absalyamova G. A. Institutional forms of innovative processes in engineering and system management based on a contingency approach	20
Ivancivsky V.V., Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Parts K.A. combined increase in wear-resistance of nickel plasma coatings	24
Saraev Y.N., Golikov N.I., Sidorov M.M., Lunev A.G., Perovskaya M.V. Influence of energy parameters of welding regimes on distribution of residual stresses in the zone of permanent connection	30
Markov A.M., Andreev M.V., Shituk A.A. Analysis of machining regimes and their influence on surface roughness while high-speed turn-milling	36
Yanpolskyi V.V., Belyy A.V. Formation of a greasy layer in the grinding of steel 45	45

Technological Equipment, Machining Attachments and Instruments

Kerzhencev V. A., Perova N. V., Skeebe P.Y., Abarinova E.V., Trofimova Y.S. Development of design base for creation of standart series of potato peeler	51
Kerzhencev V. A., Perova N. V., Isakov P.Y., Asyutkov K. A. Calculation of numerical values of standard series of potato peeler	59
Kerzhencev V. A., Martynova T.G., Bezuglov A.E., Zabrazhnov A.A. Theoretical determination of time for potatoes peeling by MOK machines	67
Kerzhencev V. A., Martynova T.G., Ryazanov D.N., Gizzatullin A.S. Numerical calculation of the potato cleaning time in the MOK machine	75
Ovcharenko A.G., Vinogradskiy V.V., Kurepin M.O. Improving the design of the sprinkler water mist «Briz»	84
Perova N. V., Rafikov U.I. Calculation of a fan of vibro-pneumatic stone separating machine	89
Kukushkin E.V., Shvaleva N.A. Questions of investigations of the low-cycle fatigue of universal joints	95

Materials Science in Machine Building

Thoemmes A. Microstructure and mechanical properties of as-cast Ti-Nb alloys	100
Ivanov I.V., Rudenia E.A. Influence of the specific surface energy of the electron beam on the thickness of quenched layer of titanium alloy OT4 formed by non-vacuum electron beam treatment	106

Chuchkova L.V., Belov A.S., Vasilieva V.S., Vyalova A.D. Increase of the complex of operating properties of titanium alloys by synthesis of carbide and boride particles in coatings	113
Rashkovets . V., Nikulina A.A., Lyapunova A.A. Manufacturead of the heat-resistant nickel alloy by additive technology of high-speed direct laser deposition	118
Loskutnikova V.V., Bushueva E.G., Tuyrin A.G. Wear-resistant coating with NbC on 12 18 9 steel by non-vacuum electron beam processing	125
Drobyaz E.A., Bushueva E.G., Kuzin F.A. Surface hardening of 12 18 9 steel with TiC by non-vacuum electron beam cladding	131
Markov A. M., Gabets A.V., Ivanov A. V., Gabets D. A. Methods of research of characteristics of friction pair of the friction unit draft gear	137
Korotkov A. N. The influence of the shape and grain orientation performance grinding tools	144
Guidelines for Writing a Scientific Paper	149
Abstract requirements	151
Rules for authors	153

УДК 621.9.042

**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*М.И. МАРКОВА, канд. техн. наук, доцент
Д.Н. НЕГРУЛЕНКО, магистрант
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Маркова М.И. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: margarita-markova@inbox.ru

Современное оборудование с программным управлением позволяет получать разнообразные сложно-профильные поверхности (СПП). Обработка таких поверхностей ведется фрезами разной конструкции. Однако, создание управляющей программы для обработки детали на станке с ЧПУ является трудоемким процессом. Наличие же современных САД/САМ-систем значительно облегчают процесс проектирования, как конструкции детали, так и технологии ее обработки. Последовательность операций при фрезеровании зависит от конфигурации и количества поверхностей, отдельных зон, обрабатываемых на этой операции, от требований шероховатости поверхностей и точности обработки. Выбор режущего инструмента на каждую операцию имеет большое значение и влияет на производительность обработки.

В работе представлена методика проектирования операций фрезерования на обработку СПП детали. Назначение видов обработки ведется исходя из точности и шероховатости обрабатываемой СПП. Затем для всех назначенных видов обработки из базы данных режущего инструмента выбирается фреза необходимого радиуса с учетом требований по конфигурации детали. Кроме этого, выдаются рекомендации по режимам резания.

Ключевые слова: обработка сложно-профильных поверхностей, методика проектирования операций, проектирование операций в САМ-системах.

Введение

Постоянное повышение требований к качеству деталей машин, которое характеризуется состоянием поверхностного слоя (шероховатостью, параметрами напряженно-деформированного состояния), точностью размеров отдельных поверхностей и их относительного расположения, определяющего точность геометрической формы детали требует постоянного совершенствования технологий их изготовления. Наибольшую трудоемкость с точки зрения подготовки производства, обеспечения требуемой шероховатости и точности формы, вызывает изготовление деталей со СПП, такими как пресс-формы, матрицы и пуансоны штампов, модели для точного литья.

СПП обрабатываются в основном на оборудовании с программным управлением [1], что позволяет при одном закреплении детали или заготовки на столе станка обработать достаточно большое количество самых разных поверхностей. Это обеспечивается

автоматическим управлением, которое позволяет перемещать инструмент по любой траектории в рабочей зоне станка. При этом могут быть использованы разные способы обработки: фрезерование как наружных, так и внутренних криволинейных поверхностей и плоскостей; сверление, развертывание и зенкерование отверстий; растачивание точных отверстий.

Создание управляющей программы для обработки детали на станке с ЧПУ является трудоемким процессом. Многообразие современных CAD/CAM-систем дают широкие возможности по проектированию различных конструкций и технологий их обработки [2, 3]. Преимуществом таких систем является сокращение времени на проектирование. Кроме того режим имитации обработки детали на станке с ЧПУ позволит на ранней стадии устранить часть ошибок и недочетов, которые могут присутствовать в управляющей программе.

Для деталей, содержащих СПП такое проектирование в разы сокращает время трудоемкого процесса. И все таки, выбор режущего инструмента, назначение видов обработки (черновая, получистовая, чистовая), назначение режимов резания является прерогативой технолога.

Теория и методы

Сложность назначения режущего инструмента возникает для деталей со СПП [4], когда имеется достаточно много разных радиусов скругления поверхностей (рисунок 1).

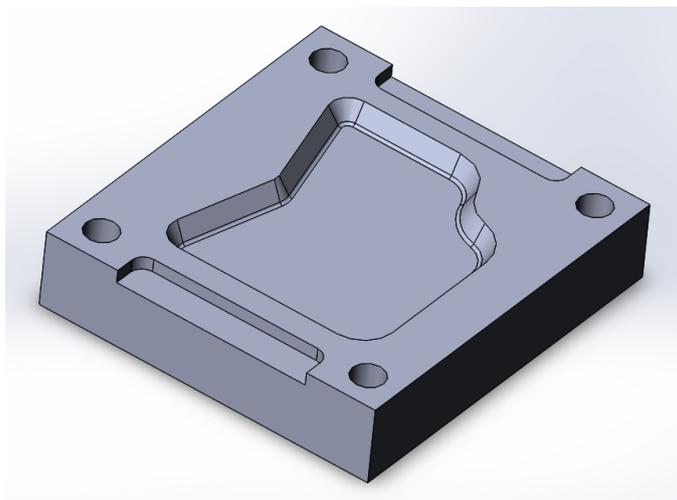


Рис.1. Деталь, содержащая сложно-профильные поверхности

Наиболее распространенными режущими инструментами, используемыми при обработке СПП, являются разные типы концевых фрез.

Последовательность и число технологических переходов при фрезеровании зависят от конфигурации и количества поверхностей, а также отдельных зон, обрабатываемых на этой

операции, от требований шероховатости поверхностей и точности обработки.

При проектировании операционного процесса наиболее сложной задачей является определение рациональной траектории перемещений инструмента при фрезеровании на станке с ЧПУ каждой конкретной зоны поверхности. Современные CAD/CAM-системы значительно облегчат процесс проектирования технологии обработки детали, содержащей СПП.

По созданной 3D модели детали последовательно в САМ-системе создается операционный процесс обработки (черновая, получистовая, чистовая обработка поверхностей). Для этого на 3D модели выбирается поверхность, назначается режущий инструмент – фреза, с ее параметрами (диаметром, вылетом инструмента, длиной рабочей части, количеством зубьев), указывается ширина фрезерования, подача, число оборотов шпинделя. Далее система автоматически строит траекторию движения инструмента.

Однако, сложность состоит в назначении черновых, получистовых и чистовых видов обработки. Последовательность и число технологических переходов будет зависеть от выбора режущего инструмента.

Для облегчения этого процесса предложена методика проектирования операций фрезерования на обработку СПП детали (рисунок 2).

Исходными данными для назначения операций фрезерования - видов обработки, режущего инструмента (РИ) и режимов резания (РР) являются:

- обрабатываемый материал (М);
- конфигурация детали (К);
- шероховатость поверхности (Ra);
- точность на обрабатываемую поверхность (Н);
- диапазон радиусов скругления поверхностей (Rскр).

Назначение видов обработки ведется исходя из точности и шероховатости обрабатываемой СПП. Затем для всех назначенных видов обработки из базы данных режущего инструмента (БД РИ) выбирается фреза необходимого радиуса с учетом требований по конфигурации детали.

На черновом фрезеровании убирается основная часть материала. Диаметр фрезы назначается наибольший из возможных радиусов скругления с учетом остатка не выбранного материала на каждом проходе не более 20 %. Это требование учитывается и для получистовой обработки.

Так как чистовое фрезерование используется для получения деталей с окончательными размерами и высоким качеством поверхностей, то назначение режущего инструмента идет с минимальным радиусом скругления поверхностей.

Выбор инструмента и назначение режимов резания ведется из базы данных режущего инструмента, содержащих фрезы для разных видов обработки и разных материалов обрабатываемых поверхностей (рисунок 3).

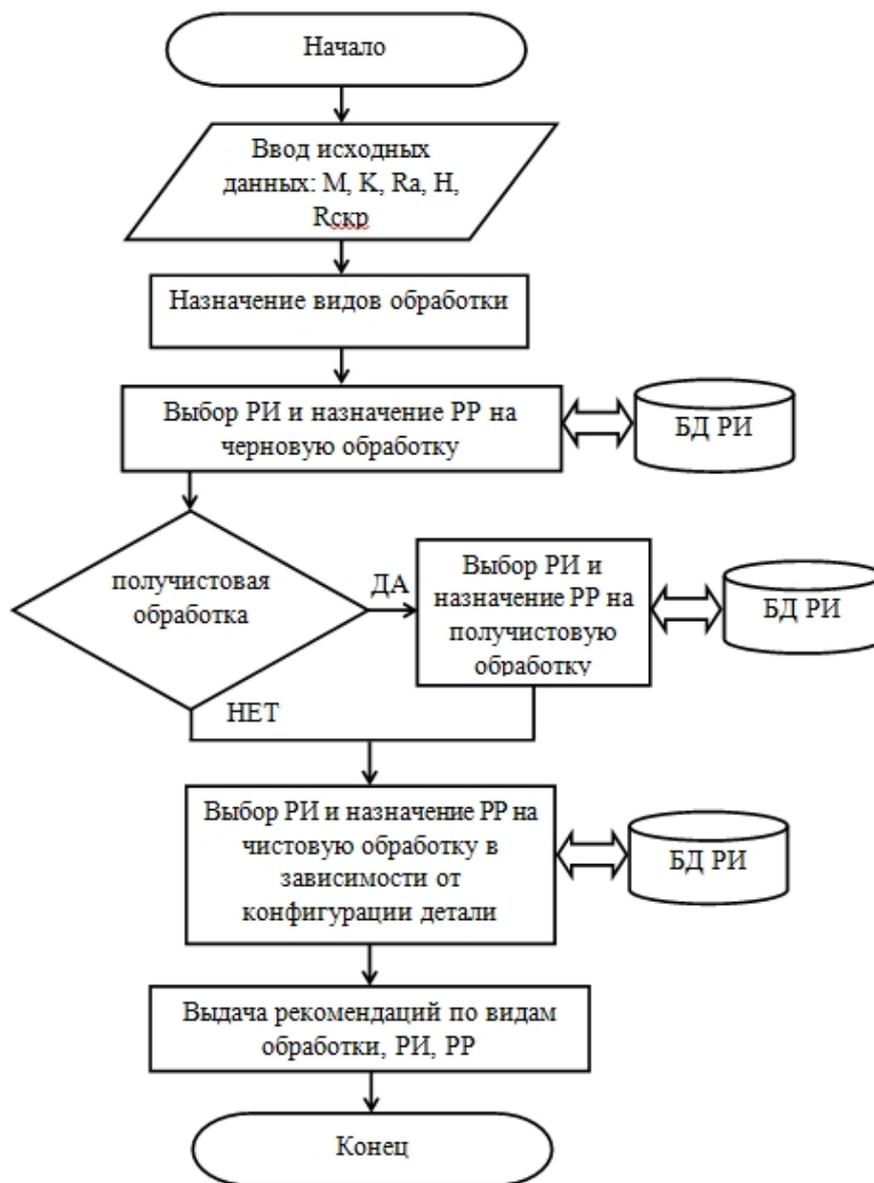


Рис.2. Алгоритм проектирования операций фрезерования для обработки СП3 детали

W Геометрия зубьев с углом подъема 40°, применяется при чистовом фрезеровании мягких, вязких материалов, дающих сливную стружку. Дополнительная / NF Поверхность режущей кромки с поперечными канавками, применяется при фрезеровании материалов с нормальной прочностью. Обеспечивает короткую

Код инструмента	Материал инструмента	Диаметр инструмента	Длина РЧ	Длина инструмента	Диаметр хвостовика	Кол-во зубьев	Тип хвостовика	Тип фрезы	Вид обр-ки	Рекомендуемая подача
191200	HSS-Co8	1,5	7	51	6	3	Цилиндрический	N	чистовая	0,002
191200	HSS-Co8	2	7	51	6	3	Цилиндрический	N	чистовая	0,003
191200	HSS-Co8	2,5	8	52	6	3	Цилиндрический	N	чистовая	0,003
191200	HSS-Co8	3	8	52	6	3	Цилиндрический	N	чистовая	0,003

Рис.3. База режущего инструмента

Результаты и обсуждение

Для назначения фрез на обработку СП3 по операциям в программе Microsoft Office Excel создана база данных режущего инструмента, которая может пополняться новым инструментом.

В системе Sprut CAM был проведен эксперимент имитирующий процесс обработки разных деталей содержащих СПП. Имитируя процесс обработки детали с разными диаметрами на черновой и получистовой обработке в режиме «Сравнение результата обработки с деталью» контролировался остаток не снятого материала. Анализ экспериментальных данных позволил разработать алгоритм проектирования операций фрезерования для обработки СПП детали. Результат работы алгоритма – это рекомендации технологу по видам обработки, причем с назначенным режущим инструментом (тип фрезы, марка материала, диаметр, длина режущей части, длина инструмента) и рекомендуемыми режимами резания.

Выводы

Предложенная методика облегчит процесс проектирования операций фрезерования в автоматизированной САМ-системе. Кроме этого спроектировав в САМ-системе последовательность операций можно сделать предварительные расчеты. Имитация технологических переходов дает возможность рассчитать время обработки и показать остаток не снятого материала. Таким образом, можно определить суммарную трудоемкость обработки каждой операции, что позволит при заданных режимах резания достичь необходимую шероховатость и точность поверхностей при обработке детали со СПП на станках с ЧПУ.

Список литературы

1. *Маркова М.И., Марков А.М., Счигёл Н.* Модель оптимизации операций фрезерования поверхностей формообразующей оснастки // *Инновации в машиностроении (ИнМаш-2015): сборник трудов VII Международной научно-практической конференции.* – Кемерово, 2015. – С. 104–108.
2. *Марков А.М., Маркова М.И., Плетнева Е.М.* Моделирование процесса формообразования при групповой обработке // *Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 11-ой Всероссийской научно-практической конференции.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – С. 64–66.
3. *Маркова М.И., Возная М.С., Соколов Р.Г.* Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010.
4. *Белов А.Б., Маркова М.И., Зиновьев А.Т.* Проблема выбора режущего инструмента при обработке деталей, содержащих пространственно-сложные поверхности // *Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники: тезисы докладов Международной школы-конференции.* Министерство образования и науки РФ, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Институт водных и экологических проблем СО РАН. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – С. 88–90.

THE METHOD OF DESIGNING THE OPERATIONS FOR MACHINING COMPLEX PROFILE SURFACES

Markova M.I., Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: margarita-markova@inbox.ru
Negrulenko D.N., Graduate students, e-mail: zaborceva.daria@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

Modern CNC equipment allows us to obtain a variety of complicated profile surface. Processing of complex profile surfaces is carried out by mills of different design. However, the creation of control programs for machining on the CNC machine is a time consuming process. The availability of modern CAD/CAM systems greatly facilitate the process of designing the part and the technology of its processing. The sequence of milling operations depends on the number of surfaces, the individual zones to be processed during this operation, the surface roughness requirements, and the machining accuracy. The choice of cutting tools for each operation is important and affects the processing performance.

The paper presents a technique for designing milling operations for processing complex profile surfaces of a part. The initial data for the purpose of milling operations - the type of processing, cutting tool and cutting modes are: processed material; detail configuration; surface roughness; the accuracy on the treated surface; the range of radius of the surfaces. The type of treatment is assigned from the precision and roughness of the processed complex profile surface. Then, for all assigned treatments select the desired radius cutter from the cutting tool database. The choice of mill depends on the configuration details. In addition, recommendations are given for cutting parameters.

Keywords

Machining of complex profile surfaces, the method of designing the operations, the design of CAM systems.

УДК 621.9

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ
«КОРПУС»**

*А.С. ВЕРЕЩАГИНА, канд. техн. наук
М.В. ИВАНОВА, аспирант, ассистент
А.А. ХАРИТОНОВ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Харитонов А.А.- 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: andrey.hharitonov@yandex.ru

В данной работе рассмотрены актуальные вопросы машиностроения, посвященные выбору метода получения заготовки при изготовлении корпусных деталей. Статья содержит подробную информацию о детали «Корпус»: масса, предъявляемые технические требования, отклонения, шероховатость, материал, геометрические параметры, а также для существующего технологического процесса и заготовки коэффициент использования материала, время на обработку данного изделия. Рассмотрены основные методы получения заготовок, распространенные на сегодняшний день. Указаны их достоинства и недостатки, применительно к выбранному варианту детали «Корпус». Проведен анализ, на основе которого был выбран альтернативный метод получения заготовки для изготовления изделия «Корпус», как наиболее рациональный и экономически оправданный, по сравнению с другими методами получения заготовки.

Ключевые слова: машиностроение, заготовка, коэффициент использования материала, трудоемкость, деталь, технологический процесс.

Введение

В наше время большими шагами идет развитие промышленности и машиностроения. От уровня развития машиностроения зависят такие факторы как: рост промышленности и темпы внедрения новой техники [1]. В настоящее время важно качественно, дешево и в заданные сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить изделия, применив современное высокопроизводительное оборудование, инструмент, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производства.

На сегодняшний момент вопрос о получении заготовки актуален в свете создания качественной продукции. Заготовки, в зависимости от их вида и типа производства, получают абсолютно различными методами. Изготовление заготовок - один из основных этапов машиностроительного производства, непосредственно влияющий на расход материалов, качество изделий, трудоемкость их изготовления и себестоимость. Разрабатывая технологию изготовления деталей и изделий, нужно добиться обеспечения определенных качеств и свойств деталей, а также обеспечить хорошие экономические показатели.

Таким образом, для детали «Корпус» нужно найти альтернативный существующему метод получения заготовки, который будет производительней и экономичней.

Теория экспериментальных исследований

В корпусных деталях размещают сборочные единицы, детали и изделия. Данный тип деталей, обеспечивает точность относительного положения деталей и механизмов между друг другом.

Деталь «Корпус» изготавливается из цельного куска материала Д16. Габаритные размеры составляют 228x147x228, масса заготовки достигает 21,68 кг, а масса детали 4,9 кг, отсюда рассчитаем коэффициент использования материала 0,226. Это в свою очередь очень неэкономично и не рационально [9,10]. Механическая обработка занимает большое количество времени равное 248 мин, что тоже влияет на производительность в технологическом процессе[13]. На рисунке 1 представлена 3D-модель детали «Корпус», разработанная в программе КОМПАС V16.

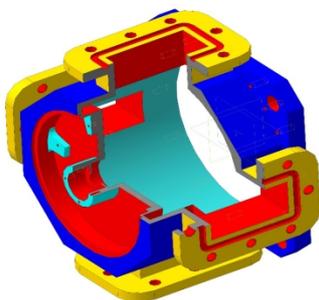


Рис. 1. 3D-модель детали «Корпус»

Существуют основные способы получения заготовок- обработка давлением, сварка, литье. Способ получения той или иной заготовки зависит от служебного назначения детали и требований, предъявляемых к ней, от ее конфигурации и размеров, вида конструкционного материала, типа производства и других факторов [4].

Обработкой металлов давлением получают машиностроительные профили, кованые и штампованные заготовки. Штамповка позволяет получить заготовки, более близкие по конфигурации к готовой детали. Внутренние полости имеют простую конфигурацию. Данный метод не может быть выбран из-за сложности внутренних поверхностей «Корпуса» (рисунок 1) и нерациональности данного метода к использованию, так как штамп будет дорогостоящим и трудноизготавливаемым.

Изготовление сварных заготовок происходит разными способами. Сварка упрощает получение заготовок сложной формы. Но у данных заготовок имеется слабое место- сварной шов или около шовная зона. А также, неправильный метод сварки может привести к появлению разного рода дефектов, которые сложно исправить дальнейшей механической обработкой. Данный метод также не подходит, из-за возникновения различных дефектов, а для данной детали важна точность.

Заготовки при литье могут иметь практически любые размеры как простой, так и сложной конфигурации. При данном методе, отливки могут иметь сложные внутренние полости. Рассмотрим следующие виды литья [5].

При литье в «землю» могут использоваться твердая модель, которую многократно используют, или же, газифицируемая модель. Формовка осуществляется трамбовкой формовочной смеси в модели.

Литье в кокиль исключает процесс формовки, обеспечивает благоприятные условия охлаждения, а также простоту удаления отливок из формы. Особенность литья в кокиль

состоит в многократном использовании металлической формы. В свою очередь быстрое охлаждение металла затрудняет получение тонкостенных отливок сложной формы.

Также, очень производительным методом получения качественных отливок из цветных металлов является литье под давлением. При данном методе жидкий или кашеобразный металл заполняет форму и кристаллизуется под избыточным давлением, затем, форму раскрывают и отливку удаляют.

Из цветных и железоуглеродистых сплавов, а также биметаллов получают детали типа тел вращения, используя при этом центробежное литье. Жидкий металл заливают во вращающуюся металлическую или керамическую форму. К недостаткам способа следует отнести ограниченность номенклатуры, оборудования и отливок высокую стоимость форм.

При литье по выплавляемым моделям металл заливают в разовую тонкостенную керамическую форму, изготовленную по моделям из легкоплавящегося модельного состава. Этим способом получают точные, практически не требующие механической обработки детали.

Для получения отливок из чугуна, стали и цветных металлов применяют литье в оболочковую форму. Саму форму изготавливают из песчано-смоляной смеси, которая состоит из термореактивной синтетической смолы и мелкозернистого кварцевого песка. Данную смесь готовят за счет измельченной порошкообразной смолы, с добавкой растворителя, и перемешиванием песка или при температуре 100-120 °С, в результате чего смола обволакивает зерна песка. После этого смесь дополнительно измельчается до получения отдельных зерен, плакированных смолой, и загружается в бункер.

Существуют еще ряд методов получения заготовок, использование которых нерационально для моего случая.

Аддитивные технологии [14-16] позволяют получать изделия на основе 3D-моделирования. В процессе происходит «наращивание» материала. Данный метод не подходит из-за высокой цены на оборудование, а также сама технология очень дорогостоящая.

Комбинированные заготовки получают при использовании, рассмотренных выше методов совместно. Это в свою очередь, позволяет увеличить экономический эффект.

Также, сегодня, получают заготовки из пластмасс и порошковых материалов. Такие заготовки практически не требуют никакой обработки.

Результаты и обсуждение

Исходя из выше сказанного, можно сказать, что альтернативным методом получения заготовки при сравнении с исходным будет литье, а именно литье под давлением. Данный метод обеспечит приближенную к готовой детали заготовку и требуемые механические свойства. На сегодняшний день этот метод очень распространен, он обеспечит нужное качество для заготовки, заданные свойства. На рисунке 2 представлена 3D-модель заготовки детали «Корпус».

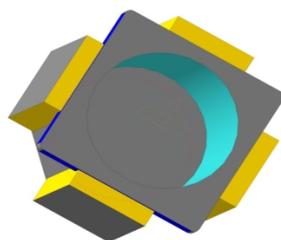


Рис. 2. 3D модель заготовки «Корпус»

Данный метод позволяет сократить массу заготовки более чем в 2 раза (масса заготовки составляет не более 10 кг), данный критерий был посчитан с помощью программы КОМПАС V16. Это будет вести к экономии материала, а также сокращению времени технологического процесса по операциям в сравнении с исходным вариантом получения детали, а также даст преимущества в инструментальной оснастке и оборудовании.

Выводы

В заключение можно сказать, что в каждой технологии изготовления есть свои трудности. Нужно рассматривать и анализировать каждый случай отдельно. Выбор заготовки - очень сложный процесс, который требует большого внимания к материалу, точности детали, шероховатости, эксплуатационным характеристикам и многим другим факторам, а также при изготовлении детали думать о будущих операциях, при обработке заготовки.

Список литературы

1. *Безъязычный В.* Основы технологии машиностроения: учебник. – М.: Машиностроение, 2013. – 568 с.
2. *Горбачевич А.Ф., Шкред В.А.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов. – 5-е изд., стер. – М.: Альянс, 2015. – 256 с.
3. *Жуков К.П., Гуревич Ю.Е.* Проектирование деталей и узлов машин: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 648 с.
4. Основные принципы выбора способа получения заготовок [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <https://studfiles.net/preview/2038674/>.
5. Способы литья в специальные формы [Электронный ресурс]. – 2018. – URL: <http://mirznanii.com/a/190497/sposoby-litya-v-spetsialnye-formy>.
6. *Моряков О.С.* Материаловедение: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 288 с.
7. *Никитенко В.М.* История машиностроения в процессах ОМД: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 55 с.
8. *Скворцов В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. – 350 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2012. – 656 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2012. – 496 с.
11. *Суслов А.Г.* Основы технологии машиностроения: учебник для бакалавриата. – М.: КноРус, 2013. – 333 с.
12. *Харламов Г.А., Тарапанов А.С.* Припуски на механическую обработку: справочник. – Изд. 2-е, испр. – М.: Машиностроение, 2013. – 256 с.
13. *Харитонов А.А.* Пути повышения эффективности технологического процесса изготовления деталей // Наука. Технологии. Инновации НТИ-2017. – Новосибирск, 2017. – Ч. 3. – С. 288–290.
14. *Yoozbashizadeh M., Khoshnevis B., Mozaka N.* Development of selective inhibition sintering (SIS) for metallic parts fabrication // International Journal of Advanced Manufacturing Systems. – 2011. – Vol. 13, iss. 1. – P. 107–122.

15. Products | Sinterstation Pro DM125/DM250 [Electronic resource]. – URL: https://www.3dsystems.com/products/datafiles/sinterstation_pro_slm/SinterstationPro_DM125_DM250_SLMSystem.pdf.

16. Products | sPro 140/230 SLS. – URL: https://www.3dsystems.com/products/datafiles/spro/DS_sPro_140230_SLS_Center_USEN.pdf.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF A METHOD OF RECEIVING PREPARATION OF A DETAIL "CASE"

Vereshchagina A. S., Ph.D. (Engineering), e-mail: osa321@gmail.ru

Ivanova M.V., Ph.D. student, Assistant e-mail: ivanova777888@yandex.ru

Kharitonov A.A., Graduate students, e-mail: andrey.hharitonov@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In this work the topical issues of mechanical engineering devoted to the choice of a method of receiving preparation at manufacture of body details are considered. Article contains detailed information on a detail "Case": weight, imposed performance specification, deviations, roughness, material, geometrical parameters and also for the existing technological process and preparation a material capacity factor, time for processing of this product. The main methods of receiving preparations extended today are considered. Their merits and demerits, in relation to the chosen detail option " Case " are specified. The analysis on the basis of which the alternate method of receiving preparation for manufacture of the product " Case " was chosen as the most rational and economically justified, in comparison with other methods of receiving preparation is carried out.

Keywords

Mechanical engineering, workpiece, material utilization factor, labor input, detail, technological process.

УДК 338.1

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИМИ НА ОСНОВЕ
СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА****Г.А. АБСАЛЯМОВА, аспирант
(АлтГТУ, г. Барнаул)****Абсалямова Г.А.** – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: rozina128@mail.ru

Актуальность изучения организационных форм инновационных процессов в машиностроении обусловлена необходимостью формирования конкурентоспособной экономики региона, основанной на движении к более высоким технологическим укладам и обеспечивающей увеличение ее вклада в решение социально-экономических проблем. В современных условиях, когда происходит быстрое моральное старение техники и технологий, будущее предприятий машиностроения во многом определяется их инновационной деятельностью, использованием прогрессивных методов управления инновациями, обеспечивающими повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Ключевые слова: организация, инновация, инновационный процесс, инновационная деятельность, неопределенность, управление

Теория

Перед тем, как рассмотреть понятие «организация инноваций», необходимо дать определения «организации» и «инновации».

Что касается понятия «организация», то применение данного термина как в теории, так и на практике достаточно многообразно. Тем не менее среди всего многообразия можно выделить ряд наиболее часто встречающихся определений, отражающих определенный спектр представлений о сущности организации [1-7].

Во-первых, организация – это объединение людей, социальная общность [8, 9].

Во-вторых, организация представляется самым распространенным видом целенаправленной деятельности человека. В этом смысле организация представляет собой совокупность целенаправленных процессов или действий, ведущих к образованию необходимых связей [6]. Иными словами, организация – это формирование структуры, а также процесс обеспечения функционирования этой структуры.

И, наконец, организация может быть определена как открытая система, взаимодействующая с окружающей средой [4].

Теоретических подходов к интерпретации понятия «инновация» тоже достаточно много. Однако, остановимся на определении, которое дают О.С. Москвитина и В.В. Митенев. По их мнению, инновация представляет собой не только прогрессивный результат, но и процесс его получения, выраженный в совокупности действий, направленных на создание и распространение новшества, удовлетворяющего конкретные общественные потребности [10]. В данном определении авторы выделяют две базовые характеристики инновации – результативную и процессуальную.

Если рассматривать инновацию как процесс, то можно выделить ряд отличительных черт, а именно, длительность, комплексность и неопределенность.

Таким образом, понятие «организация инноваций» может быть определено как упорядочение и регулирование действий отдельных личностей и групп, ориентированных на достижение путем совместных и скоординированных действий целей по созданию и реализации в социально-культурной, научно-технической, производственной и экономической сферах инноваций любого вида и направленности, разной степени новизны и сложности, практической ценности и эффективности [7].

Характерной особенностью систем организации инновациями является наличие и преобладание в них неопределенности и риска в достижении конечных результатов, большой доли вероятностных процессов. Во многом это обусловлено тем, что в инновационный процесс вовлекается человеческий фактор, который становится главной движущей силой. А человеческой природе всегда присущ конфликт между определенностью случившегося и неопределенностью будущего [2].

В общем виде, можно выделить неопределенность среды, неопределённость выбора решения и неопределенность будущей реализации данного решения [3].

Неопределенность внешней среды – функция количества информации, которой располагает организация (лицо) по поводу конкретного фактора, а также функция уверенности в этой информации [8].

Неопределенность выбора и реализации решений – это неполное или неточное представление о значениях различных параметров в будущем, порождаемых различными причинами, и прежде всего неполнотой или неточностью информации об условиях реализации решения, в том числе связанных с ними затратах и результатах [5]. При этом, ситуации, возникающие при принятии решений, можно условно разделить на три группы (Таблица 1).

Таблица 1

Типы ситуации при принятии управленческих решений

	Тип ситуации	Краткая характеристика
1	Ситуация определенности	Выбор конкретного плана действий из множества возможных всегда приводит к известному, точно определенному исходу
2	Ситуация риска	Выбор конкретного плана действий может привести к любому исходу из фиксированного множества, известны вероятности осуществления всех возможных исходов, каждый план характеризуется конечной вероятностной схемой
3	Ситуация неопределенности	Выбор конкретного плана действий может привести к любому исходу из фиксированного множества, но вероятности их осуществления неизвестны. 1. Вероятности неизвестны в силу отсутствия необходимой статистической информации; 2. Ситуация нестатистическая.

Результаты и обсуждение

Инновационная деятельность как объект управления характеризуется тем, что менеджер опирается на параметры состояния системы, которые характеризуют сложные переплетения пространственно-временных и причинно-следственных связей. В виду своей сложности, организация инновационных процессов на предприятии должна охватывать все сферы деятельности: информационную, научную, производственную, управленческую и др.

К тому же, существует ряд факторов, осложняющих инновационную деятельность машиностроительных предприятий, среди которых можно определить следующие [1]:

- чрезмерные риски;
- недостаток внутренних финансовых средств предприятия;
- отсутствие внешних источников финансирования (в том числе поддержка государства);
- нехватка квалифицированных специалистов;
- неопределенный рыночный спрос на инновационные товары /услуги;
- отсутствие или слабость инфраструктуры;
- отсутствие необходимой информации и опыта внедрения инноваций.

Преодоление этих препятствий достигается путем создания более гибкой и комплексной системы управления инновационными процессами, которая должна включать производственно-технологическую, научную, экспертную, финансовую, кадровую и информационную составляющие (Рис.1).

Выводы

Организация инноваций представляет собой сложный процесс, охватывающий собой все сферы деятельности предприятий. Он имеет затянутый во времени период осуществления. Для него характерна комплексность, обусловленная соединением научно-исследовательской составляющей и бизнеса. На инновационные процессы оказывает влияние множество внешних факторов (НТР, образование, наука, право, международная обстановка). Эти предпосылки определяют высокий уровень неопределенности, что влечет за собой невозможность четкого целеполагания и низкую предсказуемость конечных результатов деятельности.

Наиболее предпочтительным способом управления инновационными процессами является создание гибкой системы управления, способной быстро реагировать на изменения внешней и внутренней среды.

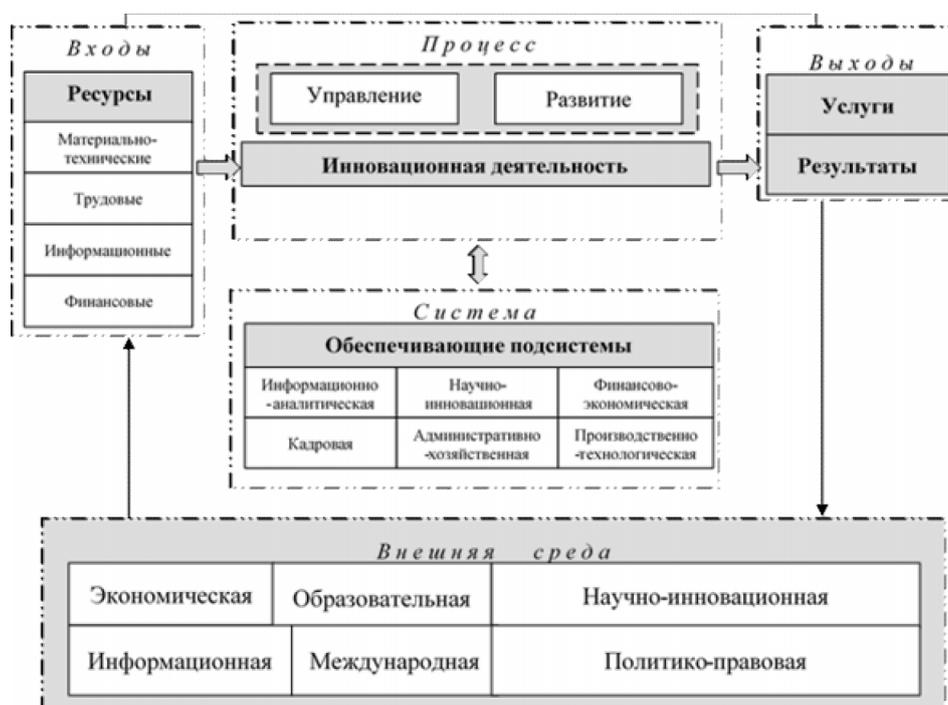


Рис. 1. Инновационная деятельность как объект управления

Список литературы

1. Абсалямова Г.А. Анализ инновационной деятельности предприятий машиностроения: пути сотрудничества с университетским комплексом // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 492–497.
2. Абсалямова Г.А. Фактор неопределенности в принятии управленческих решений // Создание саморазвивающегося макрорегиона на основе хозяйственной агломерации: материалы XIII Всероссийской научной конференции с международным участием. – Барнаул, 2017. – С. 288–299.
3. Авдийский В.Н., Безденежных В.М. Неопределенность, изменчивость и противоречивость в задачах анализа рисков поведения экономических систем // Эффективное антикризисное управление. – 2011. – № 3 (66). – С. 46–61.
4. Дафт Р.Л. Теория организации / пер. с англ. под ред. Э.М. Короткова. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2006. – 736 с.
5. Иванов А.А., Олейников С.Я., Бочаров С.А. Риск-менеджмент. – М.: ЕАОИ, 2008. – 193 с.
6. Латфуллин Г.Р., Райченко А.В. Теория организации. – СПб.: Питер, 2004. – 395 с.
7. Маслова И.Ю. Управление инновационными процессами на предприятиях машиностроения: дис. ... канд. экон. наук / Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. – Н. Новгород, 2007.
8. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: пер. с англ. / под ред. Л.И. Евенко. – М.: Дело, 1997. – 704 с.
9. Мильнер Б.З. Теория организаций. – М.: Инфра-М, 1998. – 336 с.
10. Москвитина О.С., Митенев В.В. Моделирование инновационных процессов в машиностроении // Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз. – 2005. – № 2 (29). – С. 30–37.

INSTITUTIONAL FORMS OF INNOVATIVE PROCESSES IN ENGINEERING
AND SYSTEM MANAGEMENT BASED ON A CONTINGENCY APPROACH

Absalyamova G. A., Post-graduate Student, e-mail: rozina128@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

The urgency of studying the organizational forms of innovative processes in engineering is determined by the need to form a competitive regional economy for transition to higher technological structures. In modern conditions, the future of engineering enterprises is determined by their innovative activity, the use of progressive methods of innovation management, which ensure an increase in the competitiveness of products. The organization of innovation is a complex process, covering all areas of enterprise activity. It has a long-term nature of implementation. It is characterized by the complexity, which is due to the combination of the research component and business. The innovative processes are influenced by external factors (progress, education, science, law, international situation). These circumstances create a high level of uncertainty, which causes a lack of planning and low predictability of the results of the activity. The most preferred way to manage innovative processes is to create a flexible management system that is able to respond quickly to changes in the external and internal environment.

Keywords

organization, innovation, innovation process, innovation activity, uncertainty, management

УДК 621.793.74

**КОМБИНИРОВАННОЕ ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
НИКЕЛЕВЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ***

*В.В. ИВАНЦИВСКИЙ, доктор техн. наук, доцент
Е.А. ЗВЕРЕВ, канд. техн. наук, доцент
Н.В. ВАХРУШЕВ, аспирант
К.А. ПАРЦ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Вахрушев Н.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: vah_nikit@mail.ru

В работе исследованы перспективные направления для повышения износостойкости никелевых плазменных покрытий. Рассмотрены особенности технологий комбинированного высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты и напыления композиционных металлокерамических покрытий из механических смесей. Приведены результаты сравнительных испытаний стойкости исследуемых никелевых покрытий на износ в условиях трения скольжения. Полученные оплавленные и металлокерамические покрытия обладают более высокой износостойкостью по сравнению с исходными. Образцы с композиционными покрытиями продемонстрировали значительное понижение объемного износа на всей длине пути трения, что объясняется введением частиц керамики, обладающей высокой твердостью, в состав механической смеси.

Ключевые слова: плазменное покрытие, комбинированная обработка, никелевый порошок, высокоэнергетическое оплавление, металлокерамика, механическая смесь, износостойкость.

Введение

В технологии машиностроения для повышения ресурса работы технологического оборудования применяются различные методы поверхностного упрочнения деталей машин, в числе которых и плазменное напыление покрытий [1-3]. В промышленности широко известной и распространенной группой материалов для получения износостойких покрытий являются самофлюсующиеся порошки на основе никеля [4]. Непрерывное развитие машиностроения, связанное с ужесточением режимов нагружения, требует постоянного повышения износостойкости покрытий, что можно обеспечить применением различных комбинированных технологий и формированием композиционных металлокерамических покрытий для улучшения их качественных показателей.

Сущность комбинированной обработки заключается в дополнительном высокоэнергетическом нагреве покрытий с целью уменьшения пористости, ликвидации нерасплавленных частиц в структуре и несплошностей на переходной границе. Исходя из сравнительного анализа возможностей методов обработки концентрированными

* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_18.

источниками энергии, явным преимуществом обладает высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты [5-8]. Особенностью этого процесса является выделение энергии в поверхностном слое.

Характерной чертой формирования износостойких металлокерамических покрытий является возможность получения композиций, в которых один компонент обеспечивает высокий уровень твердости, а другой – служит связкой, что в целом обеспечивает рациональное соотношение свойств. Среди многообразия технологий получения композиционных покрытий предпочтительным является использование механических смесей порошковых материалов [9, 10], поскольку плазменное напыление порошков в виде механических смесей является технологически более производительным и менее трудоемким процессом, а так же позволяет варьировать структурой и свойствами покрытий путем изменения состава и соотношения компонентов.

Целью настоящей работы является исследование износостойкости плазменных никелевых покрытий полученных в условиях комбинированной обработки.

Методика проведения экспериментов

Нанесение плазменных покрытий производилось электродуговым плазмотроном ПУН-3 мощностью 40 кВт. В качестве образцов служили тонкостенные втулки из стали 20 с наружным диаметром 25 мм и шириной 12 мм. Поверхность заготовок предварительно подвергалась процессу струйно-абразивной очистки.

Режимные параметры плазменного напыления: величина тока дуги плазмотрона, напряжение, расход плазмообразующего газа (воздуха), дистанция напыления, подача плазмотрона и скорость вращения образцов были приняты по результатам проведенных ранее исследований [11, 12]. Толщина покрытий обеспечивалась в пределах 500...540 мкм. Материалом для нанесения покрытий служил никелевый самофлюсующийся порошок ПГ-12Н-01 с размером частиц 50...100 мкм.

Оплавление поверхности образцов осуществлялось на экспериментальной установке, снабженной генератором ВЧГ 6-60/0,44 с рабочей частотой тока 440 кГц и регулируемым приводом вращательного движения. Процесс нагрева производился индуктором петлевого типа, оснащенный магнитопроводом марки N87, глубина выделения энергии составила порядка 0,6...0,8 мм. Удельная мощность варьировалась в пределах от $3,1 \cdot 10^8$ Вт/м² до $3,2 \cdot 10^8$ Вт/м², а скорость перемещения поверхности образцов относительно индуктора – от 70 мм/с до 75 мм/с [13 - 16].

Для нанесения металлокерамических покрытий использовалась механическая смесь, полученная из никелевого порошка и оксидной керамики марки 15А зернистостью 20...28 мкм, с объемным соотношением компонентов равным 1/4 [12, 17].

Испытания стойкости покрытий на износ в условиях трения скольжения проводились на экспериментальной установке реализующей схему, представленную на рисунке 1.

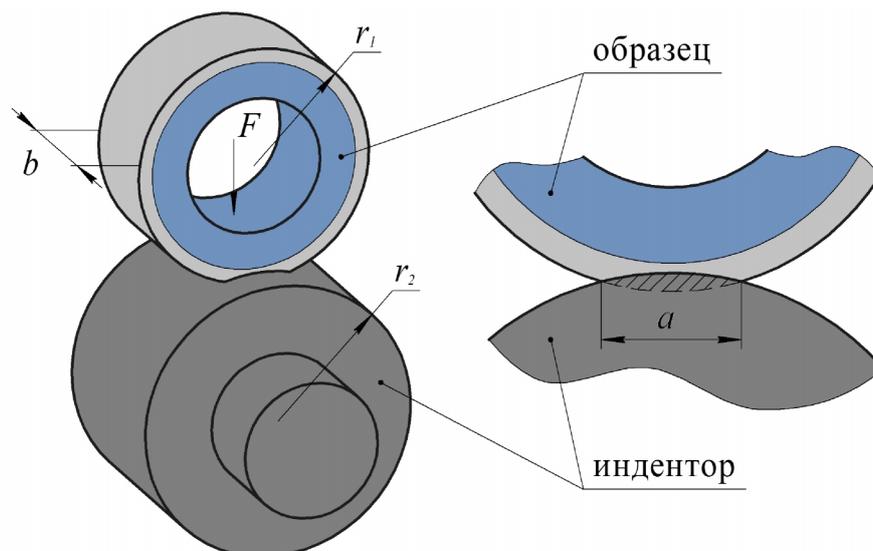


Рис. 1. Схема испытаний стойкости покрытий на износ.

Пара трения состояла из неподвижно закрепленного образца с покрытием и вращающегося индентора диаметром 30 мм и шириной 22 мм из твердого сплава марки ВК8. Частота вращения индентора в опытах при нагрузке на пару трения 20 Н составляла 1500 мин⁻¹.

В качестве обобщенной характеристики износа использовали величину объемных потерь материала образцов, вычисляемую по формуле:

$$\Delta V = \left(\frac{\pi \cdot r_1^2 \cdot \arcsin \frac{a}{2 \cdot r_1} + \pi \cdot r_2^2 \cdot \arcsin \frac{a}{2 \cdot r_2}}{180} - \frac{a}{2} \cdot \left(\sqrt{r_1^2 - \frac{a^2}{4}} + \sqrt{r_2^2 - \frac{a^2}{4}} \right) \right) \cdot b,$$

где r_1 – радиус образца, мм; r_2 – радиус индентора, мм; b – ширина образца, мм; a – ширина лунки износа, мм.

Результаты исследований

После высокоэнергетического нагрева в структуре плазменных покрытий произошли существенные изменения. Поверхность никелевых покрытий приобрела более равномерный рельеф, в покрытиях сократились пористость и участки несплошности на переходной границе, а также ликвидировались нерасплавленные частицы порошка, что подтверждается результатами металлографических исследований [18, 19].

Плазменное напыление металлокерамических покрытий из механической смеси имеет свою специфику формирования. В структуре наблюдается наличие выраженных границ между частицами никелевого порошка и оксидной керамики и взаимное обволакивание этих компонентов. Металлографический анализ показал заметное снижение содержания керамики в покрытиях по сравнению с исходной смесью, что объясняется эффектом сегрегации компонентов при плазменном напылении [20].

На рисунке 2 отображена кинетика сравнительного изнашивания исследуемых покрытий после оплавления токами высокой частоты при комбинированной обработке и полученных на основе механической смеси металлокерамических покрытий в сравнении с исходными плазменными покрытиями из никелевого порошка.

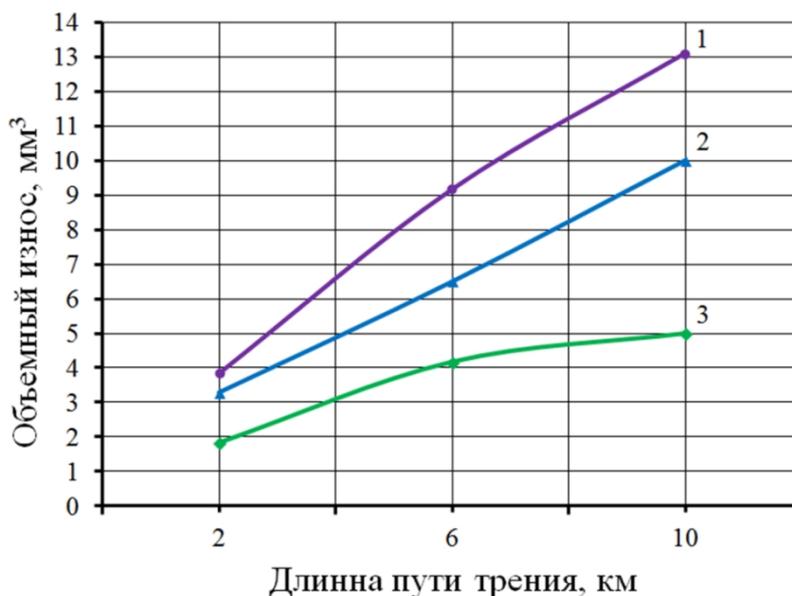


Рис. 2. Кинетика изнашивания образцов с покрытиями:
1 – без оплавления; 2 – после высокоэнергетического оплавления;
3 – из металлокерамической смеси

Результаты исследований показывают, что как оплавленные, так и металлокерамические покрытия обладают более высокой стойкостью на износ в условиях трения скольжения по сравнению с исходными покрытиями. Объемный износ образцов после высокоэнергетического воздействия токами высокой частоты понизился в среднем на 22% по всей длине пути трения. Образцы с металлокерамическими покрытиями, полученными из механической порошковой смеси, демонстрируют значительное повышение износостойкости, в среднем на 56% по всей длине пути трения. Такое увеличение стойкости объясняется введением частиц керамики, обладающей высокой твердостью, в состав механической смеси. Для сравнения, микротвердость оксидной керамики находится в пределах 12150...15840 МПа, а никелевого порошка – 7750...9600 МПа.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что применение высокоэнергетического оплавления токами высокой частоты и формирование металлокерамических покрытий из механических смесей приводит к повышению износостойкости никелевых плазменных покрытий.

При оплавлении покрытий особое внимание необходимо уделять температурному режиму, поскольку перегрев приводит к резкому снижению износостойкости, а недостаточное воздействие не дает существенного эффекта.

Нанесение износостойких покрытий из механических смесей сопряжено с проблемой определения рациональных режимов плазменного напыления ввиду разнородности порошковых компонентов. Применительно к никелевым самофлюсующимся порошковым материалам данная технология позволяет достичь значительного повышения износостойкости деталей машин в условиях трения скольжения.

Список литературы

1. *Fauchais P.L., Heberlein J.V.R., Boulos M.I.* Thermal spray fundamentals. – New York: Springer US Publ., 2014. – 1566 p. – doi: 10.1007/978-0-387-68991-3.
2. *Bejar M.A., Henriquez R.* Surface hardening of steel by plasma-electrolysis boronizing // *Materials and Design*. – 2009. – Vol. 30, N 5. – P. 1726–1728. – doi: 10.1016/j.matdes.2008.07.006.
3. Perspective of high energy heating implementation for steel surface saturation with carbon / N. Plotnikova, A. Losinskaya, V. Skeebe, E. Nikitenko // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 698. – P. 351–354. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.698.351.
4. *Пузряков А.Ф.* Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
5. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing / I.A. Bataev, M.G. Golkovskii, A.A. Bataev, A.A. Losinskaya, A.I. Popelyukh, E.A. Drobyaz // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – Vol. 242. – P. 164–169. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.038.
6. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeebe, V. Pushnin, D. Kornev // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 788. – P. 88–94.
7. Структурные особенности износостойких плазменных покрытий после воздействия токами высокой частоты / Е.А. Зверев, Ю.С. Чёсов, Н.В. Вахрушев, П.В. Трегубчак, Д.Ю. Зарубин // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2015. – № 2. – С. 347–353.
8. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating source / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111.
9. Технология получения композиционного материала на основе многофункциональной оксидной керамики / В.А. Оковитый, Ф.И. Пантелеенко, Т.Л. Талако, А.Ф. Пантелеенко // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 2 (67). – С. 39–45.
10. Специфика структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей на основе керамики / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, А.А. Никулина, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов, И.В. Бандюров // *Инновации в машиностроении (ИнМаш-2015): сборник трудов 7 международной научно-практической конференции*. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – С. 421–423.
11. Defining efficient modes range for plasma spraying coatings / E.A. Zverev, V.Y. Skeebe, P.Y. Skeebe, I.V. Khlebova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – Vol. 87. – Art. 082061. – P. 1–4. – doi: 10.1088/1755-1315/87/8/082061.
12. Структура износостойких плазменных покрытий из никель-керамической смеси / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.В. Плотникова, Н.В. Вахрушев, А.С. Ваганов, И.В. Бандюров // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2015. – № 2. – С. 405–409.
13. *Скиба В.Ю., Кузнецов А.С., Скиба П.Ю.* Математическое моделирование высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты при оплавлении плазменного покрытия // *Механика XXI века*. – 2016. – № 15. – С. 182–189.
14. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Методика назначения рациональных режимов поверхностной закалки сталей с использованием концентрированных источников нагрева // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2006. – № 4 (33). – С. 17–19.
15. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Зуб Н.П.* Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ // *Научный вестник НГТУ*. – 2008. – № 3 (32). – С. 83–94.

16. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Степанова Н.П.* Назначение режимов поверхностной закалки с использованием концентрированных источников нагрева // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).* – 2005. – № 3 (28). – С. 22–24.
17. *Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Вахрушев Н.В.* Исследование структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей // *Сборник научных трудов НГТУ.* – 2015. – № 2 (80). – С. 96–105. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-96-105.
18. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).* – 2014. – № 4 (65). – С. 11–18.
19. *Чёсов Ю.С., Зверев Е.А.* Качество износостойких плазменных покрытий после индукционного нагрева // *В мире научных открытий.* – 2015. – № 2 (62). – С. 248–266.
20. Исследование химического состава плазменных покрытий из никель-керамической порошковой смеси / В.В. Иванцовский, Е.А. Зверев, Н.В. Вахрушев, А.Н. Бредихина // *Актуальные проблемы в машиностроении.* – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 35–39.

COMBINED INCREASE IN WEAR-RESISTANCE OF NICKEL PLASMA COATINGS

Ivancivsky V.V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: ivancivskij@corp.nstu.ru

Zverev E.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: egor_z@ngs.ru

Vakhrushev N.V., Ph.D. student, e-mail: vah_nikit@mail.ru

Parts K.A., Ph.D. student, e-mail: krispars@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The perspective directions for increasing in wear-resistance of nickel plasma coatings are investigated in the article. Technology features of combined high-energy heating by high-frequency currents and deposition of composite ceramic-metal coatings from mechanical mixtures are considered. The comparative tests results for wear-resistance of investigated nickel coatings in friction sliding conditions are presented. The obtained surface melted and ceramic-metal coatings have higher wear-resistance in comparison with initial. Samples with composite coatings showed a significant decrease in volume wear on all length of the friction way, which is explained by the addition of ceramics particles having a high hardness into the composition of mechanical mixture.

Keywords

plasma coating, combined treatment, nickel powder, high-energy surface melting, ceramic-metal, mechanical mixture, wear-resistance

УДК: 621.791.052.539.4.014

**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ СВАРКИ
НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ЗОНЕ НЕРАЗЪЕМНОГО СОЕДИНЕНИЯ***

Ю.Н. САРАЕВ¹, доктор техн. наук, доцент
Н.И. ГОЛИКОВ², канд. техн. наук
М.М. СИДОРОВ², канд. техн. наук
А.Г. ЛУНЕВ¹, канд. техн. наук
М.В. ПЕРОВСКАЯ¹, канд. техн. наук
(¹ИФПМ СО РАН, г. Томск,
²ИФТПС СО РАН, г. Якутск)

Сараев Ю.Н. – 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
e-mail: litsin@ispms.tsc.ru

Известно, что остаточные напряжения, формируемые при сварке, влияют на служебные свойства конструкций. Величина и характер остаточных сварочных напряжений находятся в прямой зависимости от погонной энергии сварки, которая определяется режимом сварки. В работе исследовано влияние энергетических параметров режимов при сварке модулированным и постоянным током на распределение остаточных напряжений в зоне неразъемного соединения. Исследование остаточных напряжений в стыковых соединениях стали 09Г2С проведено рентгеновским методом. Показано, что распределение остаточных сварочных напряжений существенно зависит от погонной энергии сварки облицовочных швов. Сварка облицовочного шва электродами диаметром 4 мм с погонной энергией свыше 2000 кДж/м может привести к высоким растягивающим остаточным напряжениям.

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка, погонная энергия сварки, остаточные сварочные напряжения, рентгеновский метод.

Введение

При сварке происходит формирование значительных растягивающих остаточных сварочных напряжений (ОСН) достигающих предела текучести основного металла [1, 2]. Известно, что ОСН влияют на служебные свойства конструкций, к примеру, на устойчивость против коррозионного растрескивания, прочность при переменных нагрузках, а также сопротивляемостью сварных соединений хрупким разрушениям при низких температурах [3-10]. Величина и характер сварочных напряжений и остаточных деформаций находятся в прямой зависимости от погонной энергии сварки, которая определяется режимом сварки и зависит от сечения шва или слоя [11].

Цель работы: исследовать влияние энергетических параметров режимов при сварке модулированным и постоянным током на распределение ОСН в зоне неразъемного соединения.

* Работа выполнена в 2017 году за счет средств гранта РФФИ по проекту №16-19-10010.

Материалы и методы

Сваривали образцы 300x300 мм из стали 09Г2С, толщиной 12 мм встык электродами с основным покрытием (рис. 1). Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и сварного шва соответствовали типу С17 по ГОСТ 5264-80. Сварку осуществляли в три прохода, при этом корневые швы электродами $\varnothing 3,0$ и $3,2$ мм (LB-52U), а заполняющие и облицовочные $\varnothing 4,0$ мм на постоянном токе (СПТ) и с модуляцией тока (СМТ) – метод адаптивной импульсно-дуговой сварки [12-13]. При импульсно-дуговой сварке образцов частота модуляции тока составляла 1,67 Гц. Перечень использованных электродов и их химический состав приведены в табл. 1. Использованные при сварке электроды марки УОНИ-13/Мороз и LB-62D соответствуют одному типу Э-60 и имеют примерно одинаковые прочностные характеристики наплавленного металла.

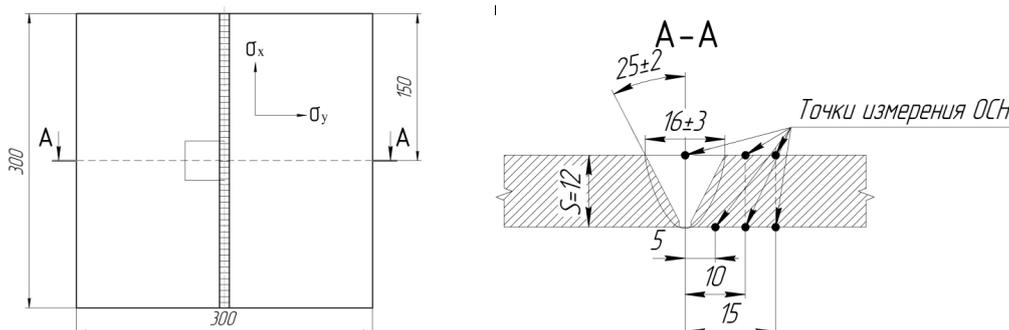


Рис. 1. Сварное соединение для исследования ОСН

Таблица 1

Использованные сварочные электроды

Марка электрода	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Mo, %	S, %	P, %
УОНИ-13/МОРОЗ ($\varnothing 3$ и 4 мм)	0,075	0,3	0,7	2,8	-	0,010	0,017
LB-52U ($\varnothing 3,2$ мм)	0,06	0,51	1,02	0,01	0,01	0,006	0,011
LB-62D ($\varnothing 4$ мм)	0,09	0,61	1,25	0,57	0,25	0,005	0,011

В процессе сварки производили регистрацию основных энергетических параметров (тока и напряжения дуги) при помощи цифрового запоминающего осциллографа «АКИП-4122/1V», дифференциального пробника «Pintek Electronics «DP-50» и токосъемного блока «current probe PR 1030». Полученные результаты обрабатывали с применением программы «OWON_Oscilloscope_2.0.8.26». Полученные результаты подвергались статистической обработке с получением гистограмм основных энергетических параметров. Средний ток и погонная энергия сварки представлены в табл. 2.

Исследование ОСН проводили с помощью рентгеновского метода, основанного на измерении микродеформаций кристаллической решетки материала, вызванных их действием [14]. Методика определения остаточных напряжений в сварных соединениях с помощью портативного рентгеновского аппарата описана в работе [2]. Данный метод успешно применяется для исследования ОСН [3, 6]. Остаточные напряжения измеряли в поперечном (σ_y) и продольном (σ_x) направлении относительно оси шва пластины в точках, расположенных на различном расстоянии от центра шва. Схема измерения представлена на рис. 1.

Результаты и обсуждение

Во всех образцах с облицовочной и корневой стороны максимальный уровень продольных растягивающих ОСН достигает 0,8 предела текучести (σ_T) основного металла

(рис. 2 и 3). Уровень максимальных поперечных – $0,6\sigma_T$, кроме образца №4 где в точке на удалении 5 мм от центра шва остаточные напряжения выше и достигают 292 МПа (рис. 3, б). В целом, во всех образцах уровень продольных растягивающих ОСН выше чем поперечных. Это согласуется с данными других авторов [1, 15].

Таблица 2

Режимы сварки образцов и результаты измерений ОСН

№ образца, режим сварки	Электрод	Слой шва	Средний ток сварки, А	Погонная энергия (q_n), кДж/м	Средняя погонная энергия, кДж/м	Среднее значение σ_x , МПа	Среднее значение σ_y , МПа
1 СПТ	УОНИ 13/Мороз	Облицовочный	151,3	2030	1732	179	84
		Заполняющий	150,9	1998			
		Корневой	81	1170			
2 СМТ	УОНИ 13/Мороз	Облицовочный	150,9	1937	1826	99	32
		Заполняющий	137	2127			
		Корневой	91,8	1416			
3 СПТ	LB-52U LB-62D	Облицовочный	177,9	1848	1673	151	138
		Заполняющий	160,2	2190			
		Корневой	93,7	982			
4 СМТ	LB-52U LB-62D	Облицовочный	160,3	2131	1685	278	91
		Заполняющий	154,7	1885			
		Корневой	92,2	1041			

Со стороны облицовочного шва среднее значение продольных ОСН в сварном соединении, полученной СПТ электродами УОНИ 13/Мороз составило 179 МПа, а поперечных – 84 МПа. При сварке модулированным током (образец №2) среднее значение продольных остаточных напряжений 99 МПа, поперечных – 32 МПа (табл. 2, рис.2, а). Среднее значение продольных ОСН в сварном соединении образца №1 со стороны корневого шва, составило 250 МПа, а поперечных - 129 МПа. В случае СМТ (образец №2) среднее значение продольных остаточных напряжений 240 МПа, поперечных 217 МПа (табл. 2, рис. 2, б). Сравнение обоих режимов сварки показало, что при СМТ электродами УОНИ 13/Мороз распределение растягивающих остаточных напряжений по уровню ниже, чем при СПТ.

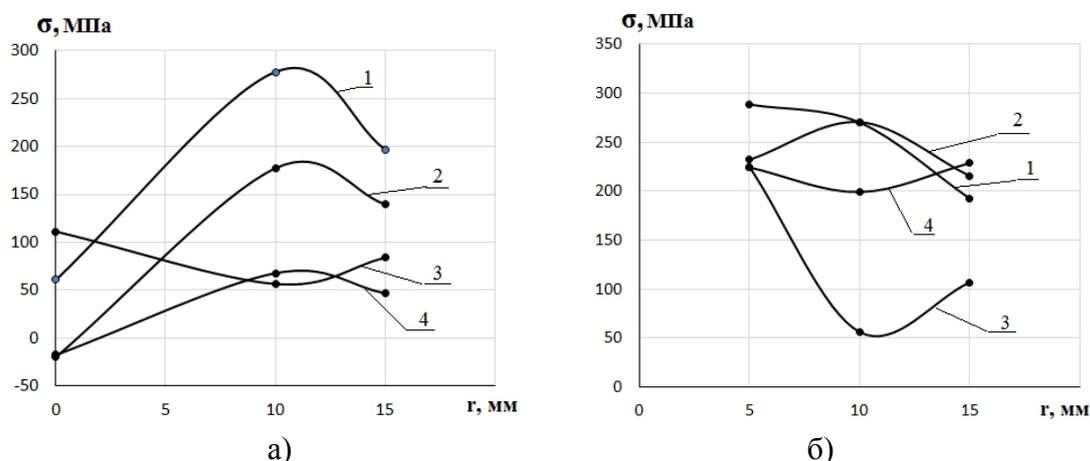


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений со стороны облицовочного (а) и корневого (б) шва при различных режимах сварки с применением электрода УОНИ 13/Мороз: 1. Продольные напряжения при СПТ; 2. Продольные напряжения при СМТ; 3. Поперечные напряжения при СПТ; 4. Поперечные напряжения при СМТ

Из графиков видно, что со стороны облицовочного шва уровень остаточных напряжений в среднем ниже, чем со стороны корневого шва при обоих режимах сварки (рис. 2). Ход кривых распределения продольных ОСН с облицовочной стороны обоих режимов сварки похожи друг на друга. Минимальный уровень продольных остаточных напряжений наблюдается в центре шва, а максимум в точке, расположенной на удалении 10 мм (рис. 2, а).

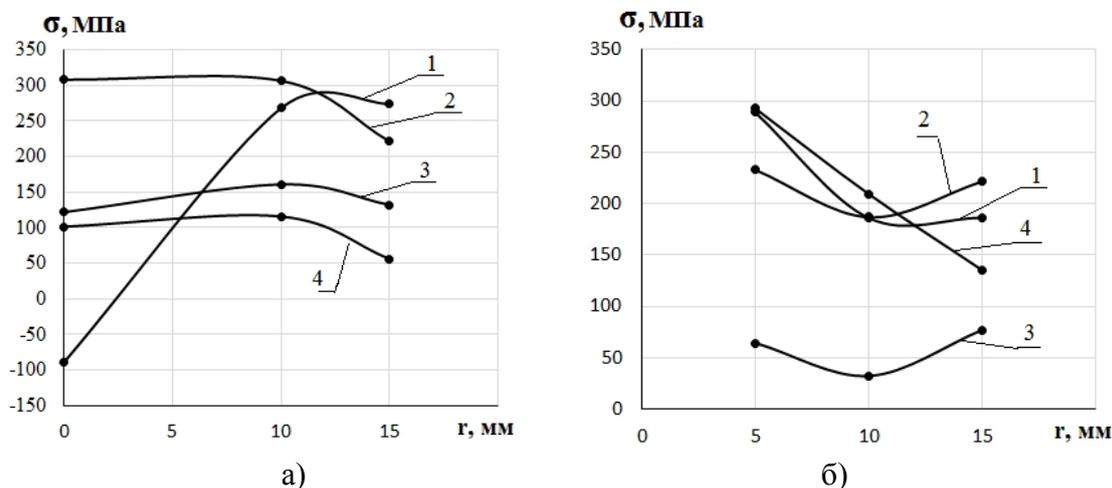


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений со стороны облицовочного (а) и корневого (б) шва при различных режимах сварки с применением электродов LB-52U, LB-62D: 1. Продольные напряжения при СПТ; 2. Продольные напряжения при СМТ; 3. Поперечные напряжения при СПТ; 4. Поперечные напряжения при СМТ

Общий характер кривых распределения ОСН полученных после сварки электродами LB-52U и LB-62D (рис. 3) похож на полученные с применением электродов марки УОНИ-13/Мороз, кроме образца № 4. В центре шва образца №4 обнаружены высокие значения остаточных напряжений (рис. 3, а).

Со стороны облицовочного шва среднее значение продольных ОСН в сварном соединении образца №3 составило 151 МПа, а поперечных 138 МПа. При СМТ (образец № 4) среднее значение продольных остаточных напряжений – 278 МПа, поперечных – 91 МПа (рис. 3, а). Средние значения продольных остаточных напряжений со стороны корневого шва в сварном соединении, полученной СПТ составило 220 МПа, а поперечных 58 МПа. В случае СМТ среднее значение продольных остаточных напряжений – 214 МПа, а поперечных - 212 МПа (рис. 3, б). Сравнение обоих режимов сварки показало, что при СМТ электродами LB-52U и LB-62D распределение растягивающих остаточных напряжений по уровню выше, чем при СПТ.

Средние значения q_n обоих образцов, сваренных электродами LB-52U и LB-62D практически одинаковы. Но обнаружен высокий уровень растягивающих ОСН при сварке модулированным током. В то же время средняя q_n образца № 2 полученного СМТ электродами УОНИ-13/Мороз больше на 8%, чем образца № 4. Это можно объяснить тем, что распределение ОСН при многопроходной сварке окончательно формируется после укладки облицовочного шва. Известно, что увеличение сечения слоя приводит к заметному росту величины остаточной деформации [11]. Из таблицы 2 видно, что q_n СМТ облицовочного шва образца № 4 составляет 2131 кДж/м. Это на 15% больше, чем q_n при сварке постоянным током облицовочного шва образца №3. Возможно данный фактор привел к увеличению уровня растягивающих ОСН в образце № 4. Здесь следует отметить, что достаточно высокие значения q_n (свыше 2000 кДж/м) облицовочного шва имеет и образец № 1.

Выводы

1. По результатам сварки модулированным током образцов электродами УОНИ 13/Мороз стыковых соединений пластины из стали 09Г2С получено благоприятное распределение ОСН по сравнению со сваркой на постоянном токе.

2. Распределение ОСН существенно зависит от погонной энергии сварки облицовочных швов. Сварка облицовочного шва электродами диаметром 4 мм с q_n свыше 2000 кДж/м может привести к высоким растягивающим ОСН.

Список литературы

1. Сварка в машиностроении. В 4 т. Т. 3: справочник / Г.А. Николаев и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.

2. Голиков Н.И., Аммосов А.П. Прочность сварных соединений резервуаров и трубопроводов, эксплуатирующихся в условиях Севера: монография. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2012. – 232 с.

3. Hessamoddin M., Iradj S.-F. The effect of welding residual stresses on brittle fracture in an internal surface cracked pipe // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 2015. – Vol. 126–127. – P. 29–36. – doi: 10.1016/j.ijpvp.2015.01.003.

4. Кусков К.В., Ковенский И.М. Малоцикловая усталость сварных соединений стали 09Г2С // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2012. – № 3. – С. 41–44.

5. Golikov N.I., Sidorov M.M. Investigation of the redistribution of residual stresses in cyclic loading of welded joints // Welding International. – 2014. – Vol. 28, iss. 12. – P. 970–972.

6. Terada H. Stress intensity factor analysis and fatigue behavior of a crack in the residual stress field of welding // Fatigue of Aircraft Structures. – 2011. – Vol. 1. – P. 5–15. – doi: 10.2478/v10164-010-0032-8.

7. A new experimental method to study the influence of welding residual stresses on fatigue crack propagation / P.-A. Deschênes, J. Lanteigne, Y. Verremana, D. Paquet, J.-B. Lévesque, M. Brochu // International Journal of Fatigue. – 2017. – Vol. 100, pt. 1. – P. 444–452. – doi: 10.1016/j.ijfatigue.2017.01.031.

8. Chang P.-H., Teng T.-L. Numerical and experimental investigations on the residual stresses of the butt-welded joints // Computational materials science. – 2004. – Vol. 29, iss. 4. – P. 511–522. – doi: 10.1016/j.commatsci.2003.12.005.

9. Hwang S.-Y., Kim Y., Lee J.-H. Finite element analysis of residual stress distribution in a thick plate joined using two-pole tandem electro-gas welding // Journal of Materials Processing Technology. – 2016. – Vol. 229. – P. 349–360. – doi: 10.1016/j.jmatprotec.2015.09.037.

10. Якушин Б.Ф., Выборнов А.П., Килёв В.С. О влиянии жесткости закрепления заготовок на ударную вязкость металла шва // Сварка. Диагностика. – 2017. – № 6 (66). – С. 52–54.

11. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

12. Investigation of the stability of melting and electrode metal transfer in consumable electrode arc welding using power sources with different dynamic characteristics / Y.N. Saraev, D.A. Chinakhov, D.I. Ilyashchenko, A.S. Kiselev, A.S. Gordynets // Welding International. – 2017. – Vol. 31, iss. 10. – P. 784–790. – doi: 10.1080/09507116.2017.1343977.

13. Saraev Y. Adaptive pulse-arc welding methods for construction and repair of the main pipelines // Proceedings of the 2nd South-East European IIW International Congress "Welding – HIGH-TECH Technology in 21st century", Sofia, Bulgaria, October 21st – 24th 2010. – Sofia, 2010. – P. 174–177.

14. *Барахтин Б.К., Немец А.М.* Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Физико-аналитические методы исследования металлов и сплавов. Неметаллические включения. – СПб.: Профessional, 2006. – 490 с. – ISBN 5-98371-034-6.

15. *Труфяков В.И.* Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. – Киев: Наукова думка, 1990. – 250 с. – ISBN 2-009392-2.

INFLUENCE OF ENERGY PARAMETERS OF WELDING REGIMES ON DISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES IN THE ZONE OF PERMANENT CONNECTION

Saraev Y.N.¹, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru

Golikov N.I.², Ph.D. (Engineering), Leading researcher, e-mail: n.i.golikov@mail.ru

Sidorov M.M.², Ph.D. (Engineering), Scientific associate, e-mail: sidorovmm@bk.ru

Lunev A.G.¹, Ph.D. (Engineering), Senior researcher, e-mail: agl@ispms.tsc.ru

Perovskaya M.V.¹, Ph.D. (Engineering), Scientific associate, e-mail: mv_perovskaya@inbox.ru

¹ Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, 2/4, pr. Akademicheskii, Tomsk, 634055, Russian Federation

² Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of Siberian Branch of the RAS, 1 Oktyabr'skaya st., Yakutsk, 677980, Russian Federation

Abstract

It is known that the residual stresses formed during welding affect the service properties of the structures. The magnitude and nature of residual welding stresses are directly dependent on the running energy of welding, which is determined by the welding regime. The influence of the energy parameters of the regimes during welding by modulated and direct current on the distribution of residual stresses in the zone of permanent connection. Investigation of residual stresses in the welding joints of 09G2S steel was carried out by the X-ray method. It is shown that the distribution of residual welding stresses essentially depends on the running energy of welding of the joints. Welding the facing seam with 4 mm diameter electrodes with a running energy of over 2000 kJ/m can lead to high tensile residual stresses.

Keywords

pulse-arc welding, running energy of welding, residual weld stress, X-ray method

УДК 621.91.01

**АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ
ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ФРЕЗОТОЧЕНИИ**

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор
М.В. АНДРЕЕВ, магистрант
А.А. ШИТЮК, аспирант
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Андреев М.В. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: m194@mail.ru

Проведен анализ режимов высокоскоростного фрезоточения, обоснована возможность его реализации на токарном оборудовании путем оснащения высокоскоростными фрезерными головками. Показана возможность достижения скоростей, характерных для высокоскоростной обработки, за счет варьирования диаметра фрезы, в диапазоне размеров стандартного инструмента, и частоты вращения. Предложена методика подбора режимов обработки и диаметра инструмента, с учетом диаметра заготовки, для обеспечения заданной равномерной шероховатости.

Ключевые слова: механическая обработка, высокоскоростная обработка, точение, фрезерование, режимы резания.

Введение

Высокоскоростная обработка (ВСО) в настоящее время относится к числу наиболее прогрессивных и интенсивно развивающихся технологий обработки материалов. Это одна из современных и эффективных альтернатив многим классическим методам механической обработки. Для токарной обработки, являющейся одной из самых распространенных в машиностроительном производстве [4], такой альтернативой является высокоскоростное фрезоточение – высокоскоростное фрезерование поверхности заготовки при ее вращении вокруг оси. Оно позволит охватить технологией ВСО огромное количество изделий машиностроительных предприятий, относящихся к группе тел вращения, размерами от нескольких миллиметров до нескольких метров, изготавливаемых из различных материалов. Ранее в работе [2] уже были описаны основные технологические особенности высокоскоростной обработки, преимущества этого метода и возможности его применения при фрезоточении. Проанализированы особенности фрезоточения, отличающие его от традиционных методов обработки. Предложены формулы для оценки влияния геометрической составляющей процесса высокоскоростного фрезоточения на формирование шероховатости. В работе [6] предложен единый подход к построению математических моделей формирования шероховатости поверхности и расчет ее параметров для различных методов обработки. В работе [5] проведено прогнозирование волнистости обрабатываемой поверхности.

Теория

Частота вращения фрезы при высокоскоростном фрезоточении:

$$n_{\phi} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\phi}}, \text{ (об/мин)}, \tag{1}$$

- где V – скорость резания, м/с;
 60 – коэффициент для перевода секунд в минуты;
 d_{ϕ} – диаметр фрезы, мм;
 1000 – коэффициент для перевода миллиметров в метры.

На рисунке 1 представлены линии равного уровня для скорости резания V в координатах $d_{\phi} - n_{\phi}$. Из графиков видно, что для достижения при высокоскоростном фрезоточении скоростей резания, характерных для ВСО, возможно варьирование не только частотой вращения фрезы n_{ϕ} , но и ее диаметром d_{ϕ} , в диапазоне размеров стандартного инструмента. Это открывает обширные возможности для внедрения высокоскоростного фрезоточения, путем оснащения токарного оборудования высокоскоростными фрезерными головками. При этом частота вращения таких головок не должна составлять несколько десятков тысяч оборотов, как в станках для высокоскоростного фрезерования. Как видно из рисунка 1, для достижения скоростей резания V в диапазоне от 40 м/с до 110 м/с достаточно обеспечить частоту n_{ϕ} вращения высокоскоростной фрезерной головки в диапазоне от 4200 об/мин до 12000 об/мин при диаметре инструмента d_{ϕ} от 65 мм до 180 мм.

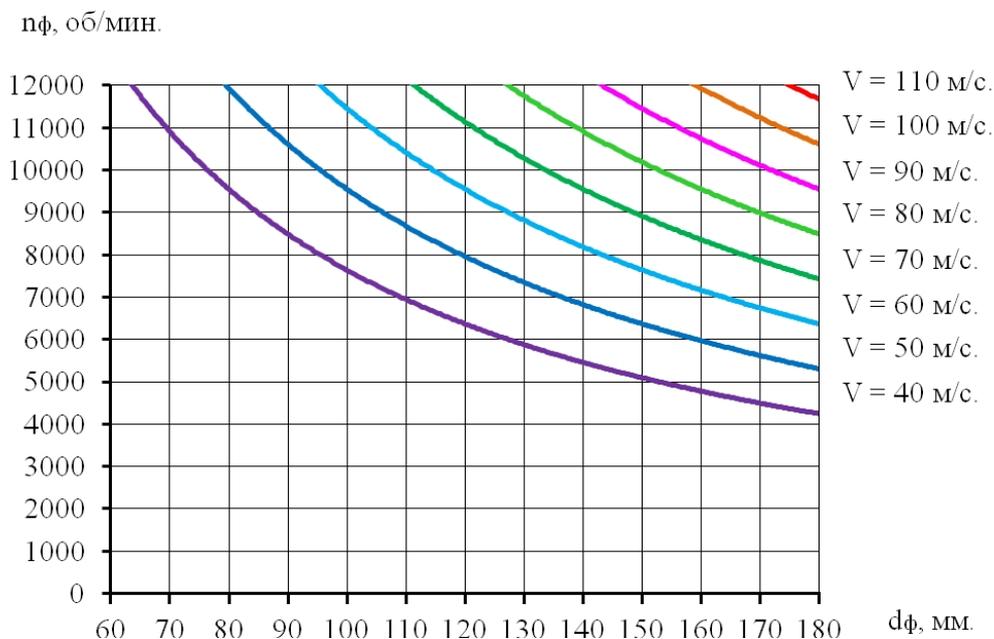


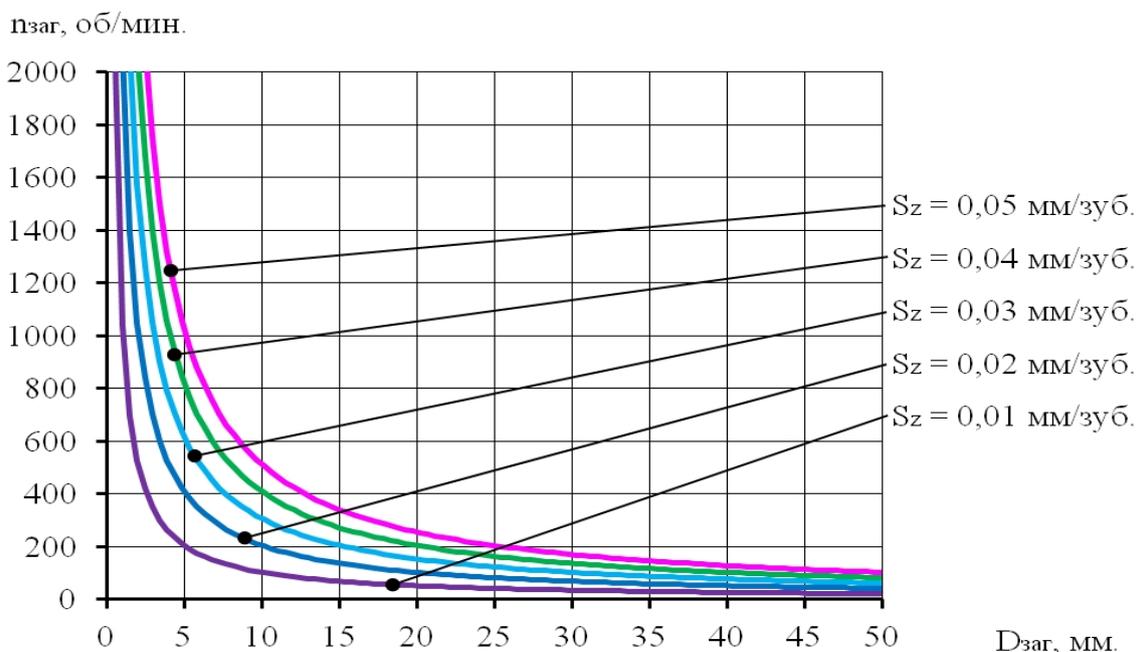
Рис. 1. Зависимости частоты вращения фрезы n_{ϕ} от диаметра фрезы d_{ϕ} для заданной скорости резания V

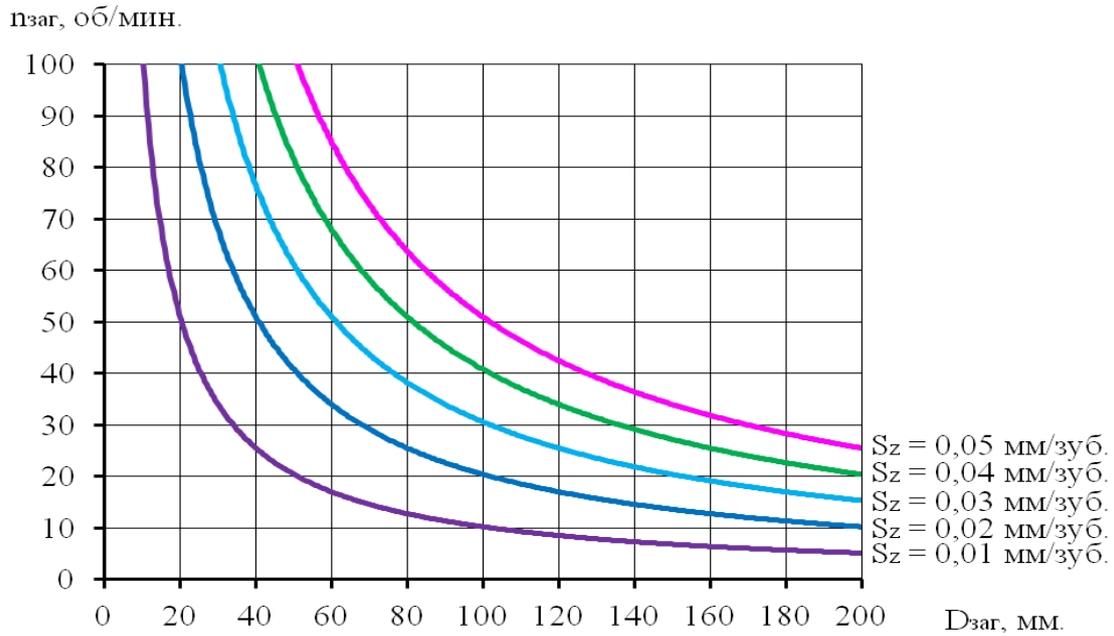
Частота вращения заготовки при высокоскоростном фрезоточении [2]:

$$n_{заг} = \frac{S_z \cdot z \cdot n_{\phi}}{\pi \cdot D_{заг}}, \text{ (об/мин)}, \quad (2)$$

где S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб;
 z – число зубьев фрезы;
 n_{ϕ} – частота вращения фрезы, об/мин;
 $D_{заг}$ – диаметр заготовки, мм.

Для обеспечения заданной подачи на зуб фрезы S_z необходимо обеспечить расчетное значение частоты вращения заготовки $n_{заг}$ для заданного диаметра заготовки $D_{заг}$. На рисунках 2а и 2б представлены линии равного уровня для подачи на зуб фрезы S_z (при числе зубьев фрезы $z = 40$, $n_{\phi} = 8000$ об/мин) в координатах $D_{заг} - n_{заг}$. Из графиков видно, что при обработке заготовок малого диаметра (рисунок 2а), с целью обеспечения заданной подачи на зуб фрезы S_z , потребуются достаточно высокие частоты вращения заготовки $n_{заг}$. Однако, это не должно вызвать затруднений при использовании токарного оборудования. С другой стороны, при обработке заготовок большого диаметра (рисунок 2б), особенно, при необходимости обеспечения малой подачи на зуб фрезы S_z , потребуются малые частоты вращения заготовки $n_{заг}$. Это может вызвать трудности в связи с ограничениями минимальной частоты вращения токарного оборудования, что следует учитывать при назначении режимов высокоскоростного фрезоточения.





б) узкий диапазон $n_{заг}$, широкий диапазон $D_{заг}$

Рис. 2. Зависимости частоты вращения заготовки $n_{заг}$ от диаметра заготовки $D_{заг}$ для заданной подачи на зуб фрезы S_z

На рисунке 3 представлена схема формирования продольной h_w и поперечной h_F составляющей шероховатости при высокоскоростном фрезеточении.

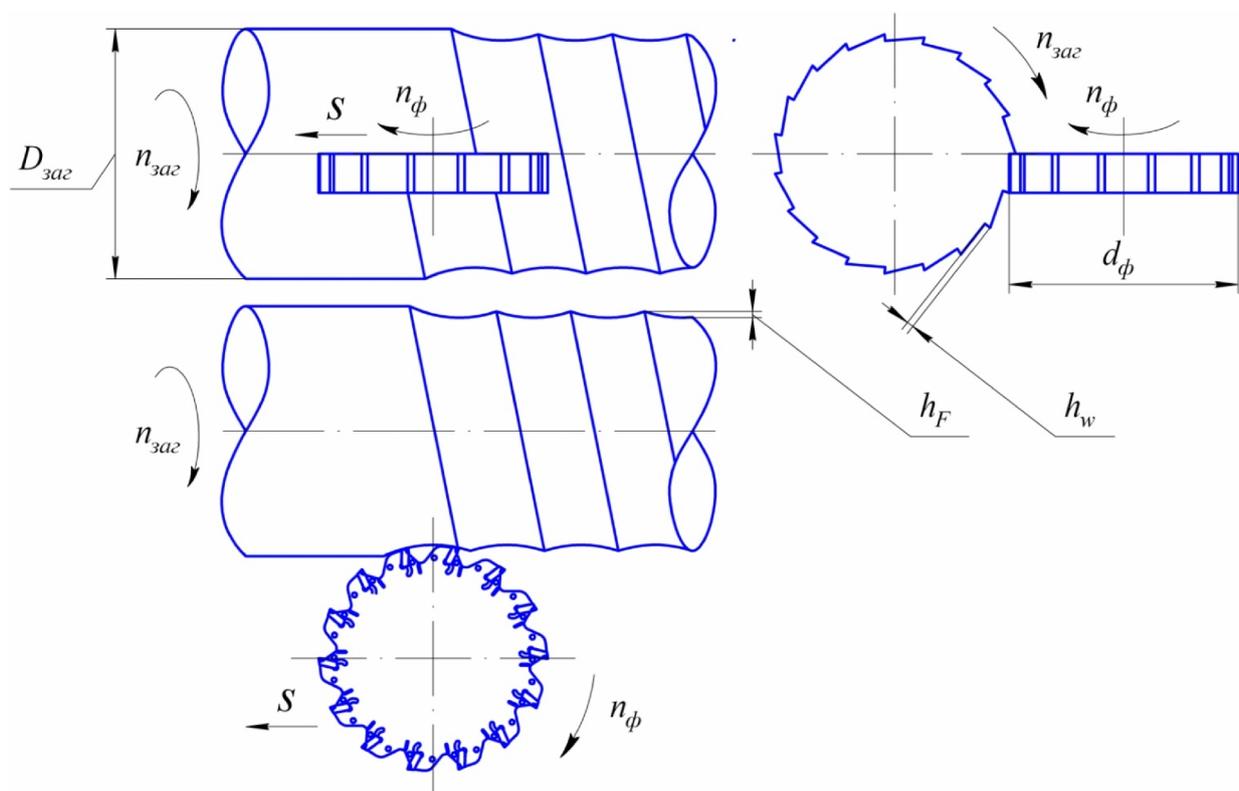


Рис. 3. Формирование шероховатости при высокоскоростном фрезеточении

На рисунке 4 представлена 3D-модель шероховатости вала после обработки высокоскоростным фрезоточением, выполненная для визуализации в увеличенном масштабе.

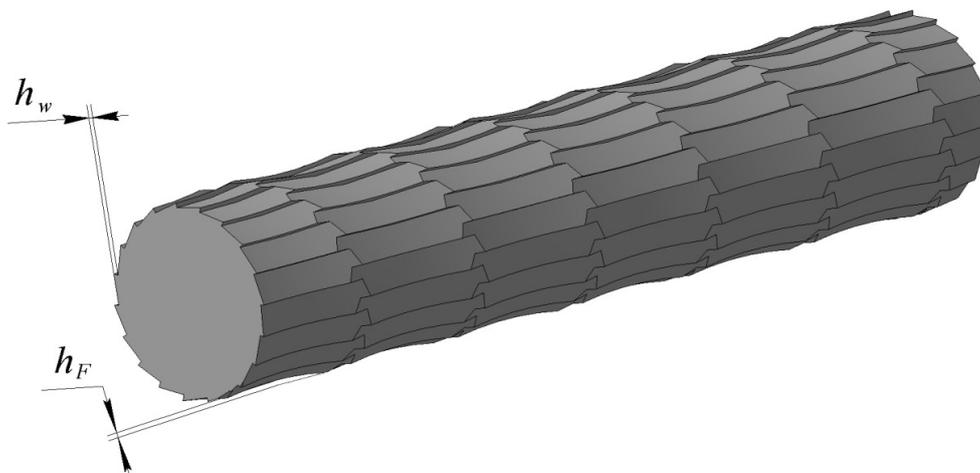


Рис. 4. Визуальная 3D-модель шероховатости вала после обработки высокоскоростным фрезоточением

Спрогнозировать величину продольной составляющей шероховатости h_w при назначении величины подачи на зуб фрезы можно по формуле [2]:

$$h_w = \sqrt{R_{заг}^2 + S_z^2} - R_{заг}, \text{ (мм)}, \quad (3)$$

где $R_{заг}$ – радиус заготовки, мм;
 S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб.

На рисунке 5 представлены линии равного уровня для подачи на зуб фрезы S_z в координатах $D_{заг} - h_w$, где $D_{заг} = 2 \cdot R_{заг}$ – диаметр заготовки. При обработке заготовок диаметром до 40 мм продольная составляющая шероховатости h_w может составлять значительную величину и будет существенно зависеть от подачи на зуб фрезы S_z . При обработке заготовок диаметром свыше 120 мм, продольная составляющая шероховатости h_w будет весьма мала, и ее зависимость от подачи на зуб фрезы S_z будет гораздо менее существенна.

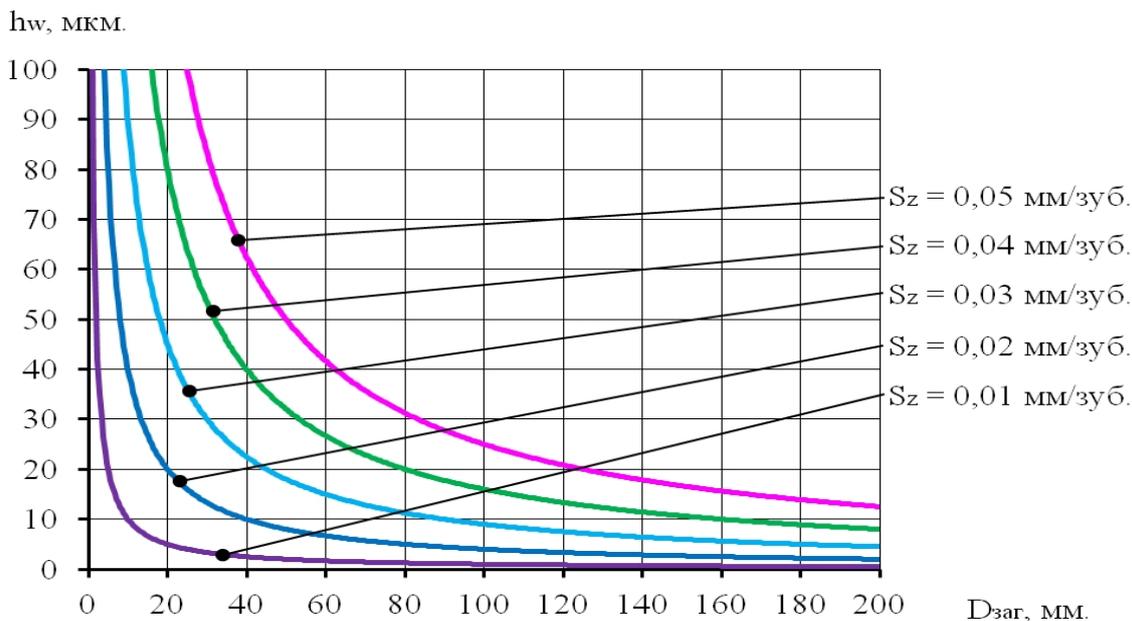


Рис. 5. Зависимости продольной составляющей шероховатости h_w от диаметра заготовки $D_{заг}$ для заданной подачи на зуб фрезы S_z

Спрогнозировать величину поперечной составляющей шероховатости h_F при назначении величины подачи фрезы можно используя формулу:

$$h_F = 0,5 \cdot (d_\phi - \sqrt{d_\phi^2 - S^2}), \text{ (мм)}, \tag{4}$$

где d_ϕ – диаметр фрезы, мм;
 S – подача фрезы, мм/об.

На рисунке 6 представлены линии равного уровня для подачи фрезы S в координатах $d_\phi - h_F$. Из графиков видно, что характер зависимостей для поперечной составляющей шероховатости h_F схож с характером зависимостей для продольной составляющей h_w . При обработке заготовок диаметром до 100 мм поперечная составляющая шероховатости h_F может быть достаточно велика, и будет зависеть от подачи фрезы S . При обработке заготовок диаметром свыше 160 мм поперечная составляющая шероховатости h_F будет значительно меньше и ее зависимость от подачи фрезы S будет менее значима.

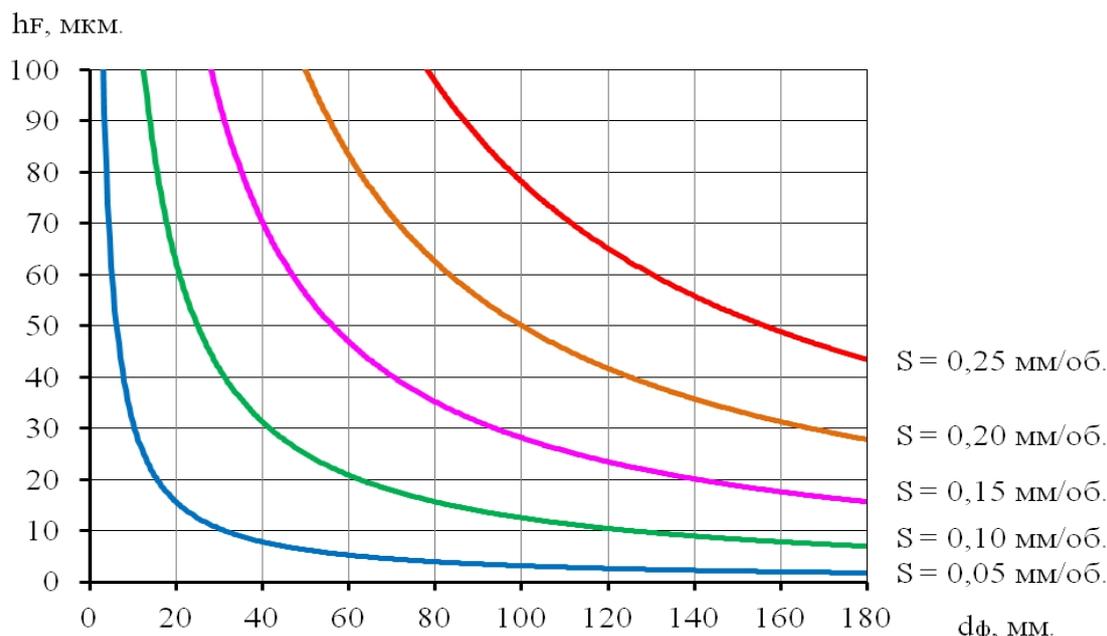


Рис. 6. Зависимости поперечной составляющей шероховатости h_F от диаметра фрезы d_ϕ для заданной подачи фрезы S

Для получения заданной величины равномерной шероховатости поверхности необходимо устанавливать режимы обработки, такие как подачу фрезы S и подачу на зуб фрезы S_z , с учетом диаметра заготовки $D_{заг}$ и диаметра фрезы d_ϕ , исходя из условия равенства продольной h_w и поперечной составляющей шероховатости h_F :

$$h_w = h_F. \quad (5)$$

На практике это удобно будет сделать с помощью графиков рисунков 4 и 5 и формула 2. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 7. Для этого по графику рисунка 6 для требуемого значения поперечной составляющей шероховатости h_F и желаемого диаметра фрезы d_ϕ подбирается подача фрезы S . Затем по графику рисунка 5 для заданного диаметра заготовки $D_{заг}$ и требуемого значения продольной составляющей шероховатости h_w подбирается подача на зуб фрезы S_z . Для обеспечения выбранной подачи на зуб фрезы S_z по формуле 2 для заданного диаметра заготовки $D_{заг}$, числа зубьев фрезы z и частоты вращения фрезы n_ϕ рассчитывается частота вращения заготовки $n_{заг}$. Если полученная частота вращения заготовки $n_{заг}$ соответствует техническим характеристикам токарного оборудования, то режимы считаются подобранными. Работа на этих режимах обеспечит формирование равномерной шероховатости обработанной поверхности требуемой величины. Если же минимальная частота токарного оборудования n_{min} превысит расчетное значение $n_{заг}$, то тогда потребуется увеличение числа зубьев фрезы z и, как следствие, ее диаметра d_ϕ и (или) частоты вращения фрезы n_ϕ .

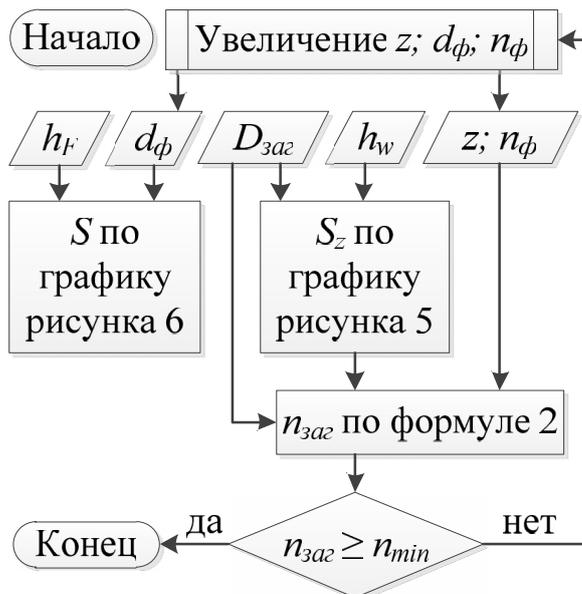


Рис. 7. Блок-схема алгоритма подбора режимов обработки и диаметра инструмента, с учетом диаметра заготовки, для обеспечения заданной равномерной шероховатости

Результаты и обсуждение

Представленные результаты позволяют оценить высоту остаточных гребешков между соседними проходами фрезы, т.е. так называемую геометрическую составляющую процесса формирования шероховатости при высокоскоростном фрезоточении. При этом не учитывается влияние деформационных процессов в зоне обработки. Однако в связи с тем, что при ВСО силы резания не столь существенны, как при традиционной обработке, можно предположить, что деформационные процессы не будут иметь значительного влияния на формирование шероховатости и представленные зависимости вполне обеспечат получение достоверных результатов.

Выводы

Несомненно, высокоскоростному фрезоточению присущи технологические ограничения, связанные с размером применяемого инструмента. Однако при обработке гладких и протяженных участков деталей вращения, т.е. при обеспечении длинных и прямолинейных траекторий перемещения инструмента все достоинства ВСО проявятся при высокоскоростном фрезоточении в максимальной степени. Невысокие значения сил резания, характерные для ВСО [3], положительно скажутся при обработке нежестких валов и тонкостенных заготовок, а малое количество теплоты, поступающее в заготовку и инструмент при ВСО, предопределяет эффективность высокоскоростного фрезоточения не только для металлов и сплавов, но и для полимерных композиционных материалов [1].

Список литературы

1. Марков А.М., Счиггел Н. Обеспечение качества изготовления деталей из композита // Инновации в машиностроении (ИнМаш-2017): сборник трудов VIII Международной

научно-практической конференции, 28–30 сентября 2017 г. – Новосибирск, 2017. – С. 219–225.

2. Анализ особенностей высокоскоростного точения фрезерованием / А.М. Марков, Ю.В. Федоров, И.С. Потапов, М.В. Андреев, А.А. Шитюк // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 3. – С. 39–44.

3. Исследование силы резания при высокоскоростном фрезеровании композиционных материалов / А.М. Марков, П.О. Черданцев, С.В. Гайст, А.О. Черданцев, Е.Ю. Лапенков, И.С. Потапов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 4. – С. 45–51.

4. Technological support of critical parts for railway transport working properties / A.V. Gabets, D.A. Gabets, A.M. Markov, M.V. Radchenko, S.L. Leonov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 50 (1). – P. 012052.

5. Forecasting of machined surface waviness on the basis of self-oscillations analysis / E.B. Belov, S.L. Leonov, A.M. Markov, A.A. Sitnikov, V.A. Khomenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 50 (1). – P. 012053.

6. Generalized mathematical model predicting the mechanical processing topography / S.L. Leonov, A.M. Markov, A.B. Belov, N. Sczygol // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 126 (1). – P. 012009.

ANALYSIS OF MACHINING REGIMES AND THEIR INFLUENCE ON SURFACE ROUGHNESS WHILE HIGH-SPEED TURN-MILLING

Markov A.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Andreev M.V., Master's Degree student, e-mail: m194@mail.ru

Shituk A.A., Ph.D. student, e-mail: shityuk-aa@apzrotor.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

Carried out analysis of high-speed turn-milling regimes. Proved possibility of realization high-speed turn-milling on turning equipment by its equipping with high-speed milling heads. Shown that achieving speeds typical for high-speed machining is possibility by varying the diameter of the milling tool in the range of the standard milling tools dimensions and the rotational speed. Proposed technique for selecting the machining regimes and tool diameter, taking into account the workpiece diameter to ensure a given uniform roughness.

Keywords

machining, high-speed cutting, turning, milling, cutting parameters.

УДК 621.922.029

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ СТАЛИ 45

В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
А.В. БЕЛЫЙ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)

Белый А.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: sanja-1994@mail.ru

Проведены исследования количественных и качественных характеристик засаленного слоя после шлифования стали 45 в не закаленном состоянии. Подробно описана методика приготовления поперечного шлифа абразивного круга и особенности подготовки микрошлифа абразивного круга для оценки количественных и качественных характеристик засаленного слоя. На основании анализа полученной структуры показано, что засаленный слой имеет волокнистую структуру с наличием раковин. Установлено, что величина микротвердости (HV) засаленного слоя составляет 4500 МПа. Проведен сравнительный анализ значения микротвердости засаленного слоя и стали 45 в не закаленном состоянии. Значение микротвердости засаленного слоя значительно превышает исходного значения микротвердости стали 45 в незакаленном состоянии. Этот факт может свидетельствовать о действии высоких локальных температур и деформационным воздействиям.

Ключевые слова: засаленный слой, абразивный круг, шлифование, микротвердость, сталь 45.

Введение

Шлифование, как правило, является окончательной операцией технологического процесса изготовления детали. От качества выполнения ее зависят эксплуатационные свойства детали. Важным аспектом обеспечения требуемого качества поверхностного слоя детали на операции шлифования является поддержание высокой режущей способности абразивных кругов [1, 2]. Стоит отметить, что при шлифовании деталей происходит образование засаленного слоя на поверхности круга, что снижает работоспособность абразивного инструмента. Восстановление работоспособности кругов, как правило, осуществляется посредством введения операции правки абразивного инструмента, что неминуемо приводит к снижению производительности. Проявление засаленного слоя на поверхности круга приводит к снижению качества поверхностного слоя обрабатываемой детали вследствие появления высоких температур в зоне резания [3, 4]. Этот факт способствует снижению эксплуатационных свойств детали. Поэтому одним из важных вопросов является изучение механизма образования засаленного слоя с целью минимизации возможности его появления при выполнении операций шлифования. Для рассмотрения вопросов, связанных с механизмом образования засаленного слоя необходимо проведение исследований, направленных на определение его количественных и качественных характеристик.

Методика экспериментального исследования

С целью определения микротвердости засаленного слоя и проведения металлографического анализа был подготовлен поперечный шлиф участка абразивного круга. Для приготовления поперечного шлифа абразивный круг с полученным на его рабочей поверхности засаленным слоем разрезался на образцы. На рисунке 1 приведена схема вырезки образцов для приготовления поперечного шлифа.

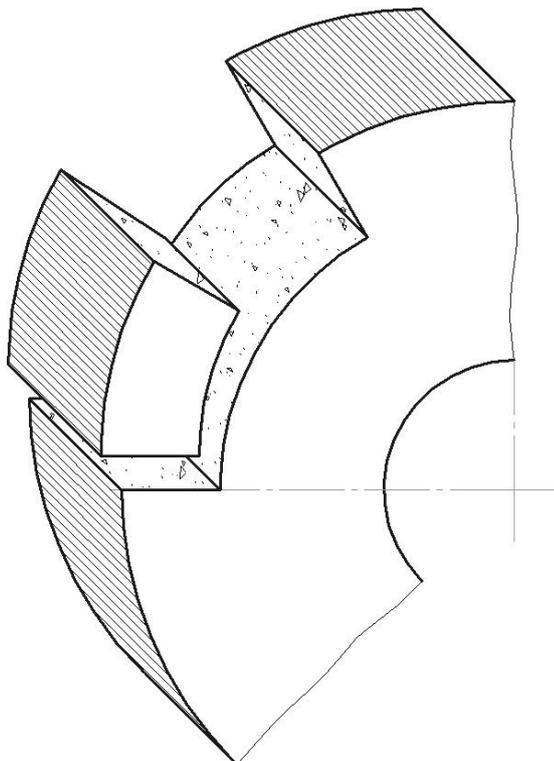


Рис. 1. Схема разрезки абразивного круга на образцы для приготовления шлифов

Для проведения экспериментов был выбран абразивный круг ПП 150×32×10 25А 16 (F80) СТ (Р) 6 К (V) ГОСТ 2424-83. В качестве модельного материала для шлифования была выбрана сталь 45 ГОСТ 1050-74 в не закаленном состоянии. Скорость вращения абразивного круга составляла 24,7 м/с, глубина резания равнялась $t = 0,02$ мм/дв. ход стола. Время обработки, принимаемое в эксперименте, целью которого является получение на рабочей поверхности круга засаленного слоя и дальнейшего его исследования, соответствует периоду стойкости шлифовального круга и для шлифования стали 45 в не закаленном состоянии устанавливалось $T = 20$ мин [5].

Шлифовальный круг разрезался на универсальном шлифовально-заточном станке ЗА64Д алмазным отрезным кругом. Абразивный инструмент хрупкий, и при его распиловке происходит вырывание зерен круга у кромки образца. Поэтому поверхность резания выбирается так, чтобы исследуемый элемент засаленного слоя находился от нее на расстоянии 0,7...1,5 мм (рис. 2).

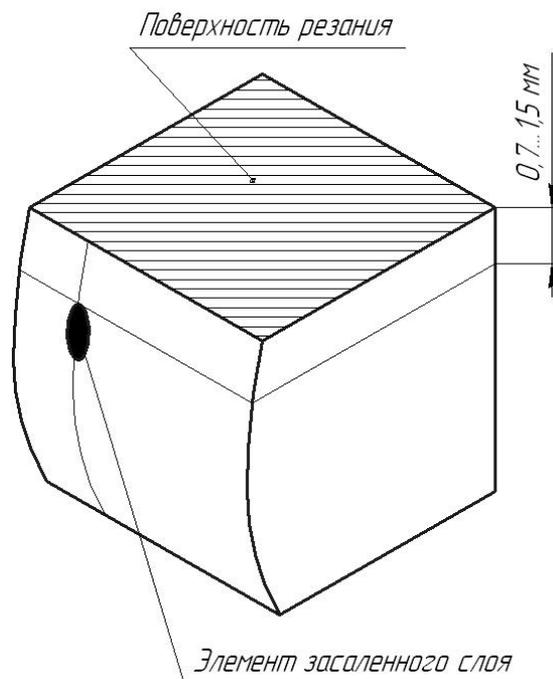


Рис. 2. Схема разрезания образца

Для шлифования и полирования образцы закреплялись в оправку. Для снижения вероятности механического повреждения или межмолекулярного взаимодействия материала засаленного слоя с материалом струбицы между струбицей и поверхностью засаленного слоя устанавливалась медная пластина (рис. 3).

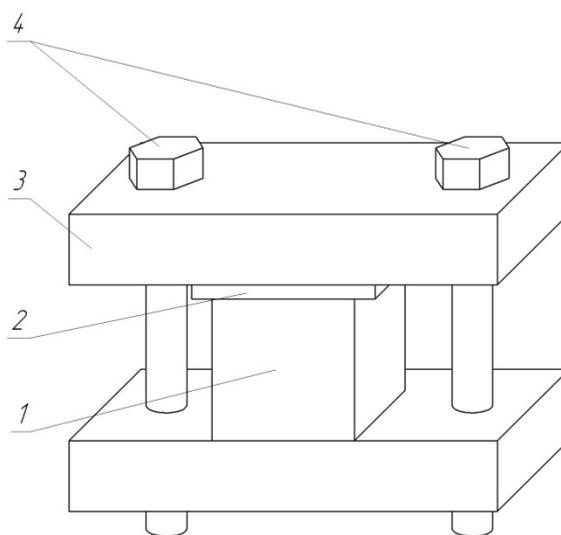


Рис. 3. Образец, зажатый в струбину:

1 – образец; 2 – струбина; 3 – медная пластина; 4 – винты крепежные

Особенностью приготовления шлифа заключается в том, что твердость зерен образца сопоставима с твердостью абразивного материала шлифовальной шкурки, поэтому даже при ручном шлифовании может происходить раскашивание зерен образца. При использовании микрошлифовальной установки усилия, возникающие при обработке, могут превышать силы, удерживающие зерна в объеме образца. При этом происходит вырывание целых зерен,

которые царапают поверхность шлифа и приводят его в непригодное для металлографического анализа состояние. В связи с этим, подготовка шлифа осуществлялась без применения микрошлифовальной установки.

Предварительно на грубой шлифовальной шкурке М 20 ГОСТ 9324-80 сошлифовывался слой образца на глубину 0,7-1,5 мм до появления исследуемого засаленного слоя. Далее шлифование образца производилось последовательно абразивной шкуркой различной зернистостью Р400, Р600, Р800 и Р1000 ГОСТ 10054-82. Затем осуществляли полирование на плотной бумаге с использованием алмазных абразивных паст ТУ 2-037-506-85 с зернистостью от 28-20 мкм до 3-5 мкм. После каждой смены зернистости при шлифовании образца абразивной шкуркой или полировании, микрошлиф промывали водой и просушивали.

Измерение микротвёрдости производили в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76. Нагрузка составляла 50 г.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований был получен микрошлиф поверхности абразивного круга после шлифования стали 45 в не закаленном состоянии. На рисунке 4 представлена структура засаленного слоя, образовавшегося на рабочей поверхности шлифовального круга. Из рисунка видно, засаленный слой имеет волокнистую структуру с наличием раковин. Наличие волокон материала может свидетельствовать о том, что он подвергался сильным пластическим деформациям. В результате таких деформаций происходит локальное повышение микротвердости материала при образовании засаленного слоя (рис. 5).

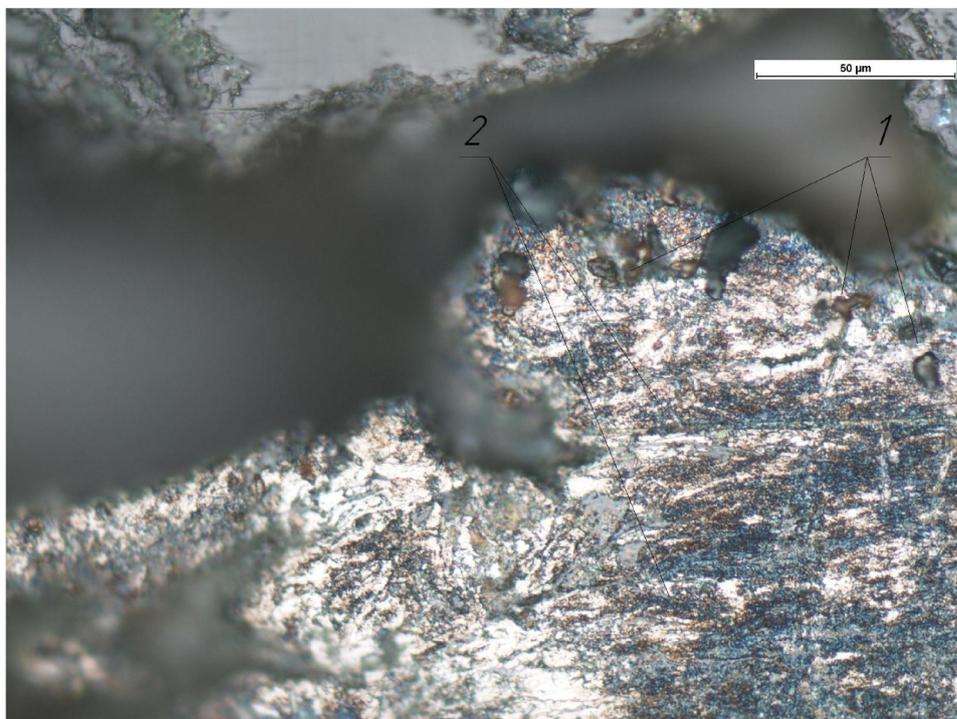


Рис. 4. Структура засаленного слоя, образовавшегося при шлифовании незакаленной стали 45.

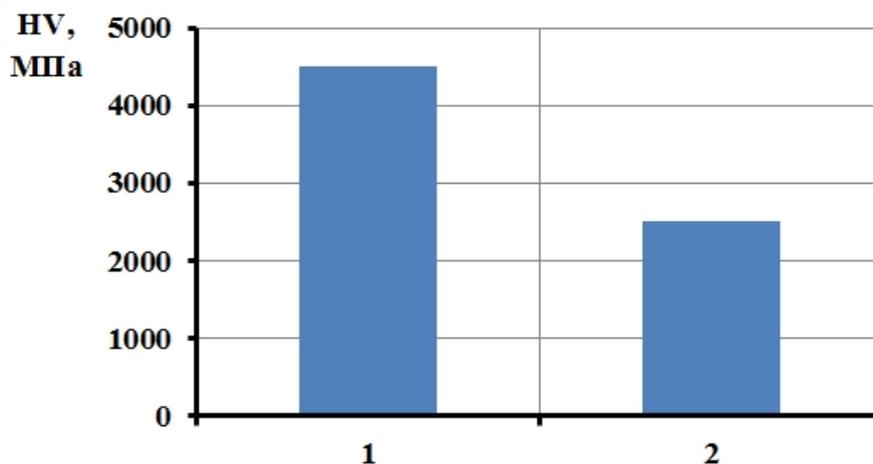


Рис. 5. Микротвердость засаленного слоя (1) и стали 45 в исходном состоянии (2)

Выводы

При обработке заготовок из стали 45 в не закаленном состоянии структура засаленного слоя, образовавшегося на периферии шлифовального круга, представляет собой слоистое металлическое образование. Границы между этими слоями свидетельствуют о том, что засаленный слой образуется в результате последовательного заполнения впадины между абразивными зернами небольшими порциями. Эти элементы попадают в поры круга под значительным давлением, об этом можно судить, исходя из того, что они имеют вытянутую форму и повышенное значение микротвердости.

Список литературы

1. Contact processes in grinding / A. Yanyushkin, D. Lobanov, P. Arkhipov, V. Ivancivsky // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 788. – P. 17–21.
2. Унянин А.Н. Аналитическое исследование локальных температур при шлифовании // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2006. – № 6. – С. 41–49.
3. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / под ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с.
4. Рахмянов Х.М., Янпольский В.В., Чекаменёв Д.И. Исследование причин снижения работоспособности абразивного инструмента при шлифовании незакаленных сталей // *Механика XXI века*. – 2011. – № 10. – С. 86–88.
5. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под общ. ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.

FORMATION OF A GREASY LAYER IN THE GRINDING OF STEEL 45

Yanpolskiy V.V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yanpolskiy@corp.nstu.ru
Belyy A.V., Master of Engineering sciences, e-mail: sanja-1994@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Markca, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The study of quantitative and qualitative characteristics of a greasy layer after grinding of steel 45 in an unquenched state is carried out. A detailed description is given of the technique for preparing a cross-section of an abrasive wheel and the features of preparing a microsection for an abrasive wheel to assess the quantitative and qualitative characteristics of a greasy layer. Based on the analysis of the obtained structure, it is shown that the salted layer has a fibrous structure with the presence of shells. It is established that the microhardness (HV) value of the greasy layer is 4500 MPa. A comparative analysis of the value of the microhardness of the greasy layer and steel 45 in the non-quenched state is carried out. The value of the microhardness of the greasy layer is much higher than the initial value of the microhardness of steel 45 in the non-hardened state. This fact may indicate the effect of high local temperatures and deformation effects.

Keywords

greasy layer, abrasive wheel, grinding, microhardness, steel 45.

УДК 643.343.3

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА КАРТОФЕЛЕОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН МОК

В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент

Н. В. ПЕРОВА, ст. преподаватель

П.Ю. СКИБА, студент

Э. В. АБАРИНОВА, студентка

Ю.С. ТРОФИМОВА, студентка

(НГТУ, г. Новосибирск)

Перова Н.В. - 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: perova@corp.nstu.ru

В статье разработан процесс расчета параметров картофелеочистительных машин типа МОК для создания типоразмерного ряда по параметру «производительность». Формулы для ведения расчетов разработаны на основе «расчетного диаметра» клубня картофеля, который определяет объем рабочей камеры машины и другие ее характеристики. Математические зависимости объединены в единый взаимосвязанный расчетный процесс, что расширяет возможности определения конструктивно-технологических параметров. Показано, что при таком взаимном увязывании расчетов изменение одних параметров ведет к соответственному изменению других. Формулы и их взаимное соответствие представляют расчетную базу и дают возможность разрабатывать модели типоразмерного ряда на единой методологической основе.

Ключевые слова: картофелеочистительная машина, типоразмерный ряд, клубень картофеля, расчетный диаметр, объем камеры, масса порции, частота вращения, производительность, мощность.

Введение

Необходимость написания статьи по исследованию машин типа МОК вызвана отсутствием в их паспортах некоторых технических характеристик (ТХ), а также тем, что числовые значения ТХ не согласованы по параметрам типового ряда. Для проведения технико-экономического анализа приходится рассчитывать эти числовые данные. Как пример, в таблице «Технические характеристики машин типа МОК» приведена выписка из паспортов моделей машин Барановичского завода.

Таблица

Технические характеристики машин типа МОК

1. Модель (паспорт)	МОК-125	МОК-150-04	МОК-250	МОК-300-04	МОК-400
2. Произ-ть, кг/ч	125	150	250	300	400
3. Масса порции, кг	6...7	7	11...12	10	20...22
4. Вместимость, л	16	--	28	--	50
5. Время цикла, мин	--	2,7	--	2,0	--
6. Мощн. эл.дв, кВт	0,37	0,37	0,55...0,6	0,55	1,1
7. Вес машины, кгс	85	55	102	62	140
8. Длина; ширина, м	0,53; 0,455	0,60; 0,41	0,63; 0,505	0,60; 0,41	0,69; 0,57
9. Частота об/мин	360	--	360	--	360

Так, строки 4, 5 и 9 таблицы не полностью заполнены числовыми данными, и в то же время имеется несогласованность между такими параметрами ТХ, как масса порции и время её обработки (строки 3 и 5). Это затрудняет исследование конструкций машин технико-экономическими методами и приводит к искажению расчетных данных, а также к необъективности методических материалов в исследовательских и учебных работах. Желательно, чтобы значения параметров были объективны и производились по обоснованным формулам с единой методологической точки зрения. Разработка новых возможностей расчета машин МОК является актуальной задачей для исследователей и проектировщиков.

Схема машины приведена на рис. 1. Рабочий орган машины (рис. 1, а) представляет собой конусообразную вращающуюся чашу 22, а рабочая камера - неподвижную ёмкость, объем которой состоит из цилиндрического корпуса 8, обечайки 16, расположенной на крышке 17, и чаши 22. Чаша расположена в камере и закреплена на валу 7. Вал получает вращение от электродвигателя 2 через клиноременную передачу.

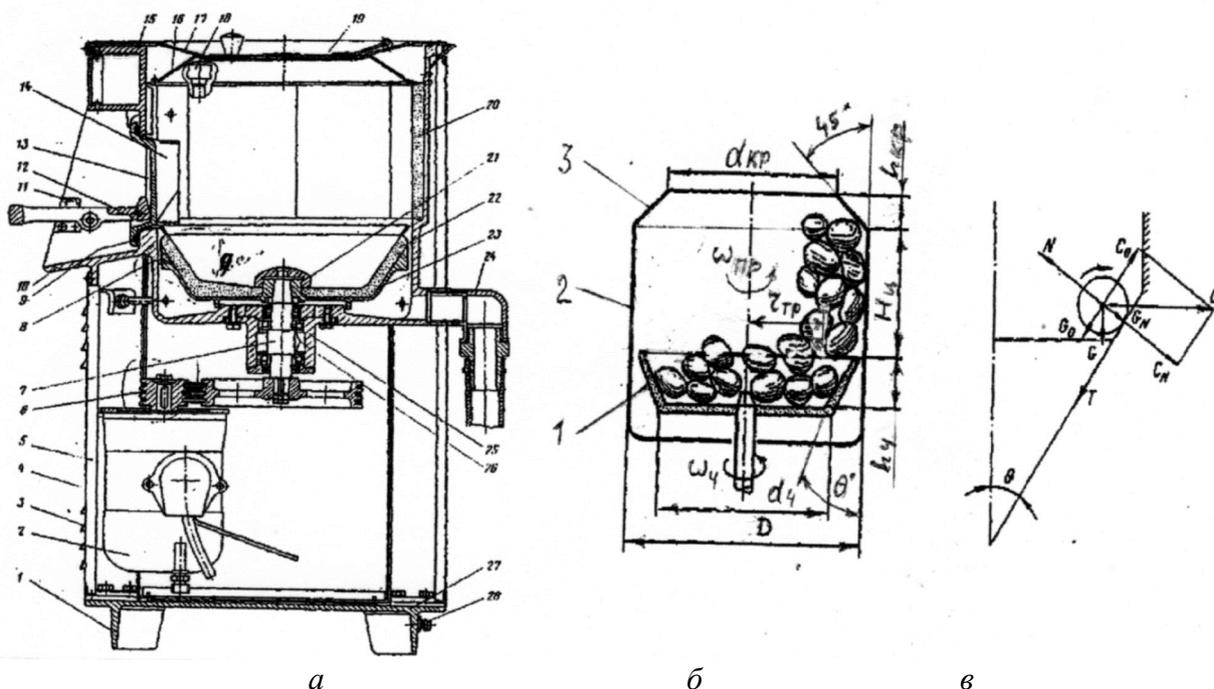


Рис.1. Картофелеочистительная машина типа МОК:

а – общий вид машины: 1-ножки; 2-электродвигатель; 3-жалюзи; 4-облицовка; 5-стойки; 6-клиноременная передача; 7-рабочий вал; 8-цилиндрический корпус; 9-уплотняющая прокладка; 10-разгрузочный люк; 11-пазы; 12-рукоятка; 13-дверца; 14-прилив (выступ); 15-прокладка; 16-обечайка (отбойник); 17-крышка; 18-штуцер; 19-откидная крышка; 20 - абразивные сегменты; 21-накидная гайка; 22-коническая абразивная чаша; 23-корпус; 24-сливной патрубок; 25-стакан; 26-подшипники; 27-опорная плита; 28-болт заземления; б – геометрические размеры камеры; в – схема сил, действующий на клубень: θ – угол конуса, G – вес клубня, G_N и G_0 – проекции силы веса к образующей конуса и на нормаль к ней, C – центробежная сила, C_0 и C_N – проекции центробежной силы, T – сила трения клубня о поверхность.

Клубни, контактирующие при работе машины с вращающимся дном чаши, откидываются центробежной силой на её конусную часть и устремляются вверх по спиральной траектории вдоль стенки неподвижной камеры. Микрочастицы абразива, находящиеся на поверхности чаши и камеры, внедряются в клубни и счищают с них наружный покров. Движение клубней вверх ограничивает обечайка 16 и клубни,

наталкиваясь на обечайку, изменяют направление движения, теряют скорость и, задевая прилив дверцы 14, падают на дно чаши. Масса клубней в камере, получая новые импульсы от чаши, вновь поднимаются вверх.

Сложное движение клубней внутри камеры и снятие их наружного слоя требует разработки соответствующих формул. В технической и учебно-методической литературе [1], [2] приводятся расчеты картофелечисток типа МОК, которые позволяют решать задачи проектирования, но недостаточно полно отражают расчетный процесс, а конечные результаты не совсем точно совпадают с ТХ паспортов. Представленные в них расчеты производятся по классической методике: производительность рассчитана по известным прототипам или на основании эксплуатационных данных машин. И получается, что параметр «производительность» в расчетном процессе не фиксирован, а изменяется в зависимости от значений других параметров и это затрудняет согласование картофелечисток с работой других машин по параметру производительности. Возможность вести расчеты по заданной производительности приведена в работе [3], в которой на примере машины МОК-125 показаны пути повышения производительности. В работе [4] введен в расчет диаметр клубня картофеля в качестве аргумента. В работе [5] использован метод номограмм для решения вопросов модернизации, что упрощает процесс выбора параметров. А в работе [6] показано, как можно использовать резервные возможности картофелечисток МОК-300 для повышения их производительности. В [7] сделана попытка определить «количество движения» массы порции картофеля применительно к воздействию, получаемому при контактах клубней с чашей. Однако все эти работы направлены на расчеты отдельных параметров и не достаточны для разработки типоразмерного ряда.

Цель данной работы – разработать формулы расчетного процесса, расширить вычислительные возможности для создания типоразмерного ряда машин типа МОК.

Теория. Обоснование и разработка формул расчетного процесса

Процесс очистки картофеля осуществляется в рабочей камере, которая должна иметь такие размеры, чтобы обеспечить свободу движения картофельных клубней внутри неё [2]. Клубни имеют разные диаметры, и, чтобы упростить вычисления, введем допущение: расчеты проведем по среднему арифметическому диаметру всех клубней в порции. Средний диаметр клубня легко вычислить, если взвесить порцию клубней, разделить её вес на число клубней, затем разделить на плотность вещества клубня, и, получив объем одного клубня, найти его диаметр. Этот диаметр будем считать «расчетным диаметром» для данной порции. Так как объем массы клубней и объем самой камеры связаны через коэффициент заполнения, то расчетный диаметр клубня определяет и объем камеры, и массу порции. Введем в рассмотрение следующие формулы.

Расчетный диаметр клубня δ определяется из соотношения [4], устанавливающего зависимость между ним и массой m порции картофеля в камере машины. Уточненная формула этого соотношения имеет вид:

$$\delta = \sqrt[3]{m/12,224\pi\varphi\rho} \quad (1)$$

Масса порции картофеля в камере машины определяется из формулы (1) путем преобразования её в формулу, зависящую от расчетного диаметра клубня δ как аргумента. Она вычисляется по формуле:

$$m = 12,224\pi\varphi\rho\delta^3 \quad (2)$$

где φ - коэффициент заполнения; ρ – насыпная плотность картофеля.

Производительность машины Q и продолжительности цикла обработки t рассчитываются по функциям, выражаемым так:

$$Q = \frac{m}{t}, \quad t = \frac{m}{Q} \quad (3)$$

Поверочным действием для оценки процесса может служить величина массы m порции, вычисляемая через оба параметра по формуле:

$$m = Qt \quad (4)$$

Размеры камеры определяются исходя из расчетного диаметра клубня. По условию [2] клубни должны иметь свободное движение внутри камеры, для этого её размеры (рис. 1, б) должны определяться соотношениями:

$$D > \lambda\delta; \quad H_{\text{ц}} \geq 0,5D; \quad h_{\text{ц}} = \delta \cos\theta; \quad h_{\text{кр}} = 0,5\delta, \quad (5)$$

где D – внутренний диаметр камеры, λ – поправка на диаметр камеры для свободного движения клубней в камере (поправка должна быть в 4 раза больше, чем диаметр клубня, то есть $\lambda > 4$); δ – расчетный диаметр клубня, м; θ – половина угла при вершине конуса, его принимают равным 30 град (рис 1, в); $H_{\text{ц}}$ – высота камеры, $h_{\text{ц}}$ – высота чаши и $h_{\text{кр}}$ – высота крышки (обечайки).

Малые диаметры усеченных конусов чаши и обечайки рассчитываются через вспомогательные параметры $x_1 = h_{\text{ч}} \operatorname{tg} \theta$ и $x_2 = h_{\text{кр}} \operatorname{tg} 45^\circ$ так:

$$d_{\text{к}} = D - 2x_1 \quad \text{и} \quad d_{\text{ч}} = D - 2x_2 \quad (6)$$

Объем камеры определяется суммой объемов частей камеры:

$$V_{\text{к}} = V_{\text{ц}} + V_{\text{ч}} + V_{\text{кр}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{ц}}$ – объем цилиндрической части камеры ($V_{\text{ц}} = \pi D^2 h / 4$); $V_{\text{ч}}$ и $V_{\text{кр}}$ – объемы усеченных конусов чаши и крышки, которые рассчитываются по общей геометрической формуле:

$$V_{\text{ч}} = V_{\text{кр}} = \frac{\pi h}{12} (D^2 + d^2 + Dd) \quad (8)$$

Объём камеры можно определить через расчетный диаметр клубня δ , если заменить параметр D в формулах (5), (6), (7) и (8) произведением $\lambda\delta$. После преобразований с учетом (1) и (2) объем камеры будет зависеть от диаметра клубня:

$$V_{\text{к}} = 12,224\pi\delta^3 \quad (9)$$

В качестве проверки можно вычислить уточненное значение λ по формуле

$$\lambda_1 = \sqrt{V_{\text{к}} / (3\pi\delta^3)}$$

Оно должно отличаться от принятого не более, чем на 3 – 5%.

Вместимость камеры $V_{вк}$ вычисляется через коэффициенты φ и ρ . Формулы связи между вместимостью и геометрическим объемом V_k имеют вид:

$$V_k = \frac{m}{\varphi\rho}, \quad V_{вк} = \frac{m}{\rho}, \quad V_{в} = \varphi V_k \tag{10}$$

где $\varphi = V_{в}/V_k$ – коэффициент заполнения рабочей камеры продуктом.

Диаметр клубня δ можно связать с объемом камеры по [4], если диаметр D и массу порции m ввести в формулы (5), (6) и (7). После преобразований с учетом (1) и (2) получаем зависимость:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{V_k}{12,224\pi\varphi}} \tag{11}$$

Частота вращения массы клубней вокруг оси камеры в период работы машины должна быть достаточной, чтобы клубни могли подняться по конусу чаши на стенку камеры (рис. 1, в). Скорость вращения массы отстает от скорости вращения чаши на коэффициент скольжения, который характеризуется минимальной величиной $K_{сmin}$. В работе [4] приведен расчет частоты вращения этой массы с учетом этого коэффициента.

Рабочую частоту можно выразить в зависимости от расчетного диаметра клубня или от диаметра камеры путем соответствующих преобразований:

$$n_{ч} = \frac{30K_{\omega}}{1-K_{сmin}} \sqrt{\frac{2f}{\delta}}, \quad n_{п} = \frac{A_1}{2\sqrt{\delta}} \quad \text{или} \quad n_{п} = \frac{A_1}{\sqrt{2}D}, \quad (\text{где } D = \frac{A_1^2}{2n_{п}^2}), \tag{12}$$

где $A_1 = \frac{30K_{\omega}}{(1-K_{сmin})} \sqrt{2f}$ – коэффициент связи между частотой вращения и величиной клубня δ (или диаметром D камеры); и где K_{ω} – коэффициент, вводимый для интенсивности процесса и учитывающий некруглость клубней; f – коэффициент трения клубней об абразивную поверхность.

Технологическая мощность процесса складывается из двух мощностей, [2]: из мощности $N_{тр}$, требуемой на преодоление трения клубней об абразивную поверхность, и мощности $N_{п}$, необходимой на подъём клубней:

$$N_{тр} = M_{тр}\omega, \quad N_{п} = A_{п}K_{л}\frac{n}{60} \tag{13}$$

где $M_{тр}$ – момент трения, равный $M_{тр} = mr_{тр}gf\varphi_m$ (где $r_{тр}$ – радиус сил трения, равный $0,375D$; φ_m – коэффициент, учитывающий, что не все клубни подняты, $\varphi_m=0,6$); $A_{п} = mgH$ – работа по подъёму клубней на высоту H камеры; ω – угловая скорость вращения, $\omega = \pi n_{ч}/30$.

Общая мощность определяется сложением обеих мощностей, указанных в формулах (13). Общее уравнение, полученное после их преобразования в [3], представлено формулой:

$$N = A_2 n_{ч} m^{1,33}, \tag{14}$$

где $A_2 = a + b$ – сумма коэффициентов при общей мощности, выражаемых формулами:

$$a = 0,375gf \left(0,875^{\varepsilon} \sqrt{\frac{g}{\pi \varphi_m \rho}} \right) 0,6 \frac{\pi}{30\eta}, \quad b = 0,5g \left(0,875^{\varepsilon} \sqrt{\frac{g}{\pi \varphi_m \rho}} \right) \frac{\varphi_m}{60\eta}, \quad (15)$$

где η – есть КПД передаточного механизма от электродвигателя машины к приводному валу.

Масса порции m , загружаемая в камеру картофеля, может быть определена нетрадиционным образом – по величине мощности привода N . Путем преобразования уравнения (14) в формулу, обратную ей, масса порции может быть определена так:

$$m_H = \left(\frac{N}{A_2 n} \right)^{0,75} \quad (16)$$

Формула (16) позволяет выразить массу порции через мощность электродвигателя, или через технологическую расчетную мощность. В случае, если расчетная мощность составит величину меньшую, чем мощность электродвигателя N_d , то разность можно использовать для увеличения загрузки. По этой же причине и производительность также увеличится; формула производительности имеет вид:

$$Q_H = \left(\frac{N_H}{A_2 n} \right)^{0,75} \frac{1}{t} \quad (17)$$

Формулы (16) и (17) можно применять для введения в расчетный процесс мощности электродвигателя, если запуск машины производить на холостом ходу, (когда еще не произведена загрузка её картофелем, что указано в правилах эксплуатации). При таком режиме включения начальный пусковой момент электродвигателя, необходимый для включения под нагрузкой, не задействован. Особенность формул (16) и (17) в том, что они обладают свойством взаимно обратного соответствия (ВОбС), которое может быть применено к исследованию машин, как это показано в [8] для обратных функций.

Результаты и обсуждение

Данное исследование показало, что расчет параметров машин МОК можно связать с «расчетным диаметром» клубня. Учет этого фактора позволил разработать формулы, которые обладают свойствами прямого и взаимнообратного соответствия. Это свойство обеспечивает инвариантность формульных выражений при их преобразовании относительно аргумента: в формулах (3) переменными можно считать Q и t , а аргументом будет служить параметр m ; в формулах (12) – аргументом является величина A_2 , относительно которой обеспечивается инвариантность формул для вычисления переменных n , δ и D ; в формуле (16) аргументом относительно переменных n и m является мощность N . В формуле (17) тот же аргумент N обеспечивает согласованное изменение числовых значений переменных Q , n и t при постоянном (фиксированном) значении N и это свойство позволяет рассчитать производительность при известных значениях n и t или частоту вращения при известных значениях Q и t . Объединение формул во взаимосвязанный расчетный процесс позволяет вычислять параметры с единой методологической точки зрения и получать объективные значения параметров типоразмерного ряда.

Выводы

Приведены формулы для расчета параметров машин МОК, образующих типоразмерный ряд. Формулы обладают свойствами прямого и обратного соответствия, что

позволяет связать отдельные параметры расчетного процесса друг с другом и получать объективные значения всех параметров машин ряда с единой методологической точки зрения и вносить их в паспорта.

Список литературы

1. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн 2: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 680 с.
2. Механическое оборудование предприятий общественного питания / В.Д. Елхина, А.А. Журин, Л.П. Проничкина и др. – М.: Экономика, 1981.
3. *Керженцев В.А.* Выявление резервных возможностей машин, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2005. – № 6. – С. 79–82.
4. *Керженцев В.А., Курсеитов В.С., Курсеитова Э.С.* Метод модернизации оборудования // Мехнізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць національного аграрного університету. – Київ: Видавництво Науково-методичного центру аграрної освіти, 2002. – Т. 13. – С. 352–360.
5. Выявление методами номографии предельных параметров для последующей модернизации машин АПК / В.А. Керженцев, П.Н. Ванчугова, М.В. Пономаренко, А.П. Михайленко // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 11-ой Всероссийской научно-практической конференции, 27 марта 2013 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2013. – С. 254–257.
6. *Керженцев В.А., Гутова А.Е.* Выявление резервных возможностей картофелеочистительной машины МОК-300 для повышения ее производительности // Наука. Промышленность. Оборона, НПО-2004: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004.
7. *Керженцев В.А., Батова П.Н.* Увеличение загрузки картофелечистки МОК за счет доиспользования мощности ее электродвигателя // Материалы 3-й международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, вып. 7.
8. Новые перспективные возможности расчета шнековых конвейеров / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, Г.М. Наливайченко, С.Н. Твердохлебов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 85–91.

DEVELOPMENT OF DESIGN BASE FOR CREATION OF STANDART SERIES OF POTATO PEELER

Kerzhencev V. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

Perova N. V., Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

Skeeba P.Y., Student, e-mail: skeeba@rambler.ru

Abarinova E.V., Student, e-mail: abarinova1998@mail.ru

Trofimova Y.S., Student, e-mail: Trofimova9433@gmail.com

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The paper presents the calculation process of the potato peeler for creating standard series by productivity. The authors developed formulas for calculations, which base on «calculation diameter» of potato. This diameter determines the working volume of chamber and other characteristics. The authors unite the mathematical dependencies in a single calculating process, which increases the opportunities of definition of design and technological parameters. This interrelationship show what the change of one parameters leads to an appropriate the change of other. Formulas and their interrelationship represent the calculation base and enable develop models for creating standards on a unified methodological basis.

Keywords

potato peeler, standard series, potato, calculation diameter, working volume of chamber, rotation speed, productivity, power.

УДК 643.343.3

**РАСЧЕТ ЧИСЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА
КАРТОФЕЛЕОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН МОК**

*В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент
Н. В. ПЕРОВА, ст. преподаватель
П. Ю. ИСАКОВ, студент
К. А. АСИУТКОВ, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Перова Н.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: perova@corp.nstu.ru

В статье приведен численный расчет параметров разрабатываемого типоразмерного ряда картофелеочистительных машин МОК. Типоразмерный ряд сформирован для пяти моделей, различающихся своими производительностями. Расчеты представлены в таблицах и каждая из них показывает возможность решения одной из задач, поставленных в работе: определение исходных данных для составления типоразмерного ряда; вычисление размеров рабочей камеры, расчет необходимой мощности и частоты вращения рабочего органа; повышение производительности при использовании полного ресурса мощности электродвигателя. Численный расчет по разработанным формулам представляет взаимосвязанный вычислительный процесс, который позволяет рассчитывать конструктивно-технологические параметры при проектировании моделей типоразмерного ряда.

Ключевые слова: типоразмерный ряд, картофелеочистительная машина, диаметр клубня, конусообразная чаша, абразивная камера, вычислительный процесс, мощность, производительность.

Введение

Для пищевых производств требуются картофелеочистительные машины МОК разной производительности, составляющих типоразмерный ряд, и это ставит перед разработчиками машин необходимость расчета параметров моделей ряда. Машины МОК являются машинами периодического принципа действия, и очистка картофеля производится в рабочей камере путём трения клубней об абразивные поверхности камеры и конусообразной чаши, рис.1.

Более подробно принцип действия машин и расчетная методика приведена в [1]. В ней главный параметр технической характеристики (ТХ) – производительность определяется по известным конструктивно-технологическим параметрам картофелечистки. В этом есть недостаток расчетного метода: если величина производительности определена в задании на проектирование машины, то рассчитать по этой величине численные значения параметров, определяющих эту величину, затруднительно, так как потребуются перебирать числовые значения других параметров, чтобы получить нужное значение производительности. Аналитические исследования, проведенные в последнее время, показали, что, производительность может быть представлена в формулах как аргумент. И появляется необходимость проверить правильность формул численными расчетами и подтвердить, что они являются объективными. Предварительно такие расчеты были выполнены в работах [2]

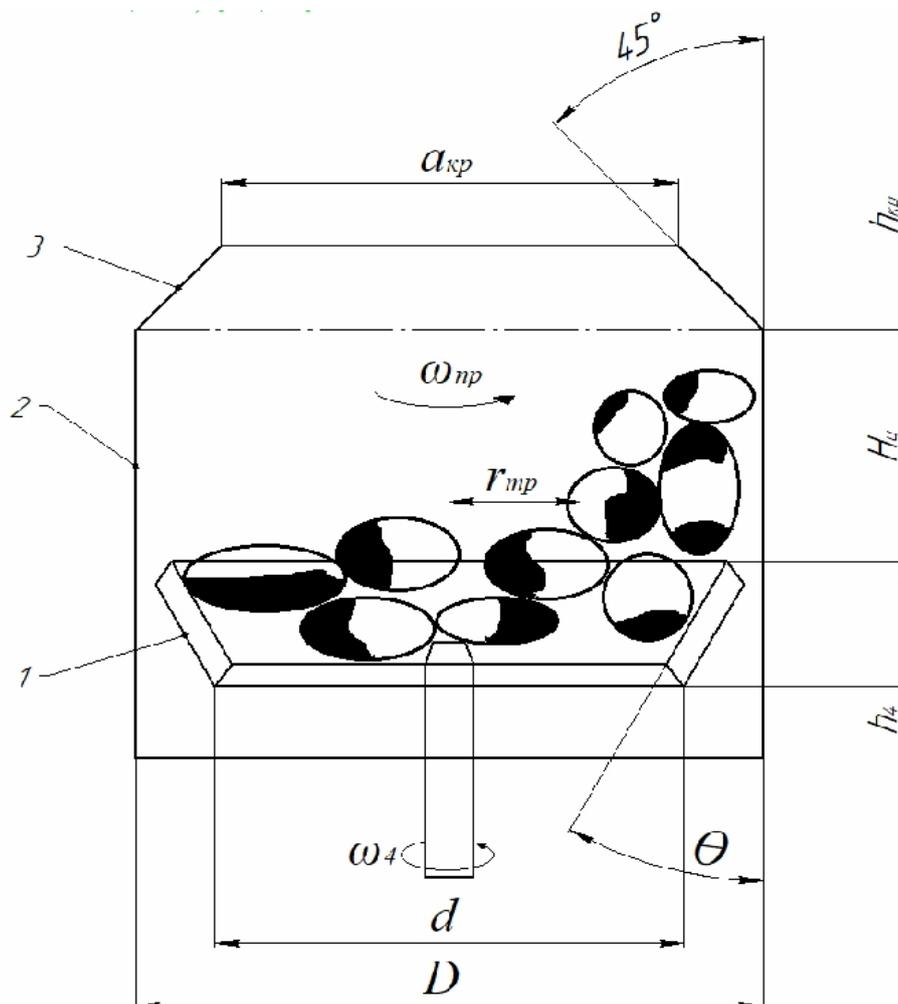


Рис.1. Схема рабочего органа и рабочей камеры машины типа МОК
1 – конусообразная чаша; 2 – цилиндрическая камера; 3 крышка-отбойник

– [6], которые показали, что с их помощью можно рассчитывать параметры типоразмерного ряда. Таким образом, подтверждение расчетов машин численными методами является актуальной задачей.

Цель работы – рассчитать числовые значения параметров моделей, составляющих типоразмерный ряд машин МОК, подтвердив расчетами возможность применения вычислительных процедур.

Теория. Численный расчет параметров типоразмерного ряда

В нижеприведённых таблицах даны расчёты параметров пяти моделей, представляющих типоразмерный ряд. В качестве примера ведения расчетов выбраны машины Барановичского завода по параметру производительность. Рассчитать модели позволяет «расчетный диаметр» клубня картофеля. Он может быть получен как среднее арифметическое размеров всех клубней в порции и рассматриваться как правильный шар. Естественная некруглость клубней может быть учтена в соответствующих коэффициентах. Расчетный диаметр клубня становится в формулах согласующим фактором, позволяющим сформировать единую расчетную базу, представленную таблицами. В расчетах можно

выделить следующие связи: между расчетным диаметром клубня и массой порции в камере, между массой порции и вместимостью камеры, между вместимостью и геометрическим объемом камеры, между производительностью и технологической мощностью. Таким образом, формулы в таблицах раскрывают циклически взаимосвязанный расчетный процесс.

Ниже приведены таблицы с расчетами моделей типоразмерного ряда, содержащие формулы и результаты вычислений в соответствующих размерностях. В вычислениях применены следующие постоянные величины: коэффициент заполнения камеры продуктом $\varphi=0,6$ и насыпная плотность картофеля $\rho=660 \text{ кг/м}^3$; КПД устройства $\eta=0.85$.

Исходные данные для расчета параметров машин МОК

Типоразмерный ряд машин МОК, представлен в табл. 1. Он формирует линейку из пяти моделей, имеющих производительности 125, 150, 250, 300 и 400 кг/ч. По величине производительности и по времени очистки определяем массу порции картофеля, загружаемую в рабочую камеру. Для объективности расчетов принимаем для всех моделей одну и ту же продолжительность процесса очистки, равную 180 с [1]. По производительности и массе порции вычисляем расчетный диаметр клубня – основной фактор для расчета других параметров.

Таблица 1

Типоразмерный ряд машин МОК

Параметр	Модель	МОК-125	МОК-150	МОК-250	МОК-300	МОК-400
	Формулы					
1.Производительность часовая, кг/ч	Задана паспортом $Q_{пч}$	125	150	250	300	400
2.Производительность, кг/с	$Q_{пс} = Q_{пч}/3600$	0,0347	0,0417	0,0694	0,0833	0,1111
3.Масса порции при $t_{оч}=180 \text{ с}$, кг	$m_{п} = Q_{пс}t_{оч}$	6,25	7,5	12,5	15,0	20,0
4.Расчетный диаметр клубня по массе, [5], м	$\delta = \sqrt[3]{m_{п}/12,224\pi\varphi\rho}$	0,0743	0,0790	0,0937	0,0995	0,1096
5.Объем камеры по диаметру клубня при $\lambda=4,1$, дм^3	$V_{к} = 0,75\pi\lambda^2\delta^3$	16,28	19,53	32,56	39,07	52,09
6.Объем массы порции по коэффициенту φ , дм^3	$V_{\varphi} = \varphi V_{к}$	9,77	11,72	19,53	23,44	31,25
7.Объем порции по её массе, дм^3	$V_{m} = m_{п}/\rho$	9,47	11,36	18,94	22,73	30,30
8.Масса порции по паспорту, кг	По паспорту модели	6–7	7	11...12	10	20...22
9.Объем камеры по паспорту	По паспорту модели	16	—	28	—	50

Пояснения к табл. 1. Последовательность строк таблицы указывает на порядок применения формул в расчетном процессе. По формулам строк 1 – 4 определен расчетный диаметр клубня, а по нему вычислен в строке 5 объем камеры при $\lambda=4,1$. При таком значении λ условие свободного движения клубней внутри камеры выполнено, так как по [1] этот коэффициент должен быть больше четырех. В строке 6 рассчитан объем порции картофеля, называемый вместимостью, а в строке 7 рассчитан тот же объем по насыпной плотности картофеля для сравнения. В строке 8 записана величина массы порции, заданная в паспорте модели. Сравнение этой массы с массой, рассчитанной в строке 3, показывает соответствие

их друг другу, что указывает на возможность применения в вычислениях фактора «расчетного диаметра» клубня.

Расчет геометрических размеров рабочей камеры

Расчет геометрических размеров камеры (табл. 2) необходим для проектирования конструкций машин данного типоразмерного ряда. По размерам рабочих камер определяют её объем, который представляет собой пространство для движения клубней картофеля при работе машины. Общий объем камеры состоит из трех объемов [1]: цилиндрического барабана и двух конусообразных объемов: внутреннего объема чаши и внутреннего объема крышки (рис. 1). Какие размеры камеры необходимо рассчитать, указаны на рис. 1. В табл. 2 приведены формулы и результаты вычислений этих размеров.

Таблица 2

Геометрические размеры камеры

Параметр машины	Расчетная формула	МОК-125	МОК-150	МОК-250	МОК-300	МОК-400
1.Диаметр камеры (при $\lambda=4,1$), м	$D = \lambda\delta$	0,305	0,324	0,384	0,408	0,449
2.Высота цилиндрической части камеры, м	$H_{ц} = 2\delta$	0,149	0,158	0,187	0,199	0,219
3.Высота чаши, м	$h_{ч} = \delta \cos\theta$	0,064	0,068	0,081	0,086	0,095
4.Высота крышки камеры, м	$h_{кр} = 0,5\delta$	0,037	0,040	0,047	0,050	0,055
5.Вспомогательные размеры см. строку 6), м	$x_1 = h_{ч} \operatorname{tg}\theta$ $x_2 = h_{кр} \operatorname{tg}45$	0,037 0,037	0,040 0,040	0,047 0,047	0,050 0,050	0,055 0,055
6.Малые диаметры чаши и крышки, м	$d_{ч} = D - 2x_1$ $d_{кр} = D - 2x_2$	0,230 0,230	0,245 0,245	0,290 0,290	0,309 0,309	0,340 0,340
7.Объем цилиндрической части, дм^3	$V_{ц} = \frac{\pi D^2}{4} H_{ц}$	10,85	13,02	21,70	26,04	34,73
8.Объем конической чаши, дм^3	$V_{ч} = V_{кр} \left(\frac{\pi h}{12} (D^2 + d^2 + Dd) \right)$	3,65	4,38	7,29	8,75	11,67
9.Объем конической крышки, дм^3	$V_{кр} = \frac{\pi h}{12} (D^2 + d^2 + Dd)$	2,11	2,53	4,21	5,05	6,74
10.Геометрический объем камеры, дм^3	$V_{к} = V_{ц} + V_{ч} + V_{кр}$	16,60	19,92	33,21	39,85	53,13
11.Новое расчетное значение λ_1	$\lambda_1 = \sqrt{V_{к}/(3\pi\delta^3)}$	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14

Пояснения к табл. 2. Вычисления размеров камеры (строки 1–9) произведены по известным геометрическим формулам. В результате расчетов получен общий объем камеры (строка 10), совпадающий с объемом, вычисленным по расчетному диаметру клубня (строка 5, табл. 1). В строке 11 определено новое значение λ_1 , которое отличается от заданного не более чем на 1%.

Расчет технологической мощности процесса очистки

Расчет технологической мощности приведен в табл. 3. Величина мощности складывается из двух мощностей [1]: мощности $N_{тр}$, необходимой для очистки картофеля от наружного покрова (то есть мощности на трение клубней о стенки абразивной камеры), и

мощности $N_{\text{п}}$, затрачиваемой на подъем клубней. Мощность $N_{\text{тр}}$ зависит от крутящего момента, необходимого на преодоление сил трения клубней о стенки, а мощность $N_{\text{п}}$ – от высоты подъёма, равного высоте камеры.

Таблица 3

Параметр	Формулы	Расчетные характеристики				
		МОК-125	МОК-150	МОК-250	МОК-300	МОК-400
1. Радиус вращения массы картофеля в камере, м	$r_{\text{тр}} = 0,375D$	0,114	0,121	0,144	0,153	0,168
2. Крутящий момент для массы по трению, Нм	$M_{\text{тр}} = mr_{\text{тр}}gf\varphi_m$	4,6	5,9	11,7	14,9	21,8
3. Частота вращения чаши по δ (см), об/мин	$n_{\text{ч}} = \frac{30K_{\phi}\omega}{1 - K_{\text{сmin}}\sqrt{\frac{2f}{\delta}}}$	367,2	356,2	327,1	317,3	302,5
4. Угловая скорость вращения, рад/с	$\omega = \pi n_{\text{ч}}/30$	38,45	37,30	34,26	33,23	31,67
5. Мощность на трение массы, Вт	$N_{\text{тр}} = M_{\text{тр}}\omega$	177,9	220,0	399,3	493,9	690,9
6. Мощность на подъем клубней, Вт; $K_{\text{п}}=0,55$	$N_{\text{п}} = mgHK_{\text{п}}n/60$	30,7	38,8	68,9	85,2	119,2
7. Общая технологическая мощность при $\eta=0,85$, Вт	$N_{\text{т}} = (N_{\text{тр}} + N_{\text{п}})/\eta$	245,3	303,5	550,8	681,3	953,1
8. Расчетная мощность по [2] (при A_2 , табл.4), Вт	$N = A_2 n_{\text{ч}} m^{1,33}$	266,5	242,0	424,6	364,2	862,6
9. Мощность установленного электродвигателя, Вт	Задано паспортом $N_{\text{пасп}}$	370	370	550	750	1100
10. Превышение мощности двигателя над расчетом, Вт	$\Delta N = N_{\text{пасп}} - N$	124,5	66,5	-0,8	68,6	147,0

Пояснения к табл. 3. Предварительно рассчитаны радиус вращения массы порции картофеля (строка 1), крутящий момент (равный моменту трения этой массы об абразивные поверхности, строка 2), частота и угловая скорость вращения чаши (строки 3 и 4). Особенность расчета в том, что частота вращения чаши (строка 3) выражена через диаметр клубня « δ », являющийся аргументом, что позволяет определить мощность по значениям расчетного диаметра клубня (разного для моделей ряда). Здесь применены коэффициенты: K_{ϕ} – коэффициент интенсификации для повышения частоты вращения из-за наличия некруглых клубней ($K_{\phi}=1,8$), f – коэффициент трения клубней об очищающие поверхности, $f=1,1$; и $K_{\text{сmin}}=0,2$ – коэффициент скольжения, характеризующий отставание массы клубней относительно чаши, φ_m – коэффициент, учитывающий, что часть клубней при работе машины не находятся в подброшенном состоянии и не влияют на силы трения, $\varphi_m=0,6$, η – КПД привода ($\eta=0,85$).

В строке 8 для сравнения мощностей дана формула по [3], связывающая три главных параметра – мощность N , частоту вращения чаши n и массу порции картофеля m друг с другом. Возможности расчета по этой формуле расширяются: в одном случае можно вычислять значение мощности, если потребуется использовать её новые значения при изменении параметров, в другом – определить массу порции (а соответственно и производительность), если изменить объем камеры, а в третьем – варьировать частоту вращения в зависимости от значений первых двух параметров. Значение коэффициента A_2 ,

рассчитано табл. 4. Так, сравнение мощностей в строках 7 и 8 показывает их отличие друг от друга, но в обоих случаях их расчетные значения меньше, чем мощности электродвигателей моделей, приведенных в строке 9. Превышение мощностей электродвигателей над расчетными (строка 10), можно использовать для увеличения загрузки машин картофелем (см. табл. 4).

Возможность увеличения загрузки картофелем машин МОК

Такая возможность появляется, если использовать электродвигатель, установленный на машине, на полную его мощность (табл. 4). При этом пусковой момент электродвигателя не влияет на его запуск, так как (согласно правилам эксплуатации) картофель загружается в камеру после включения электродвигателя. Расчет новой массы порции ведем по формуле, указанной в строке 8, табл. 3. Путем её преобразования выделяем параметр массы m . Рассчитываем дополнительную массу картофеля Δm . Вводим в формулу строки 5 величину превышения мощности ΔN , принимая её по строке 10, табл. 3. Рассчитывая, получаем прибавку массы картофеля Δm , строка 5, табл. 4.

Пояснения к таблице 4. Формулы в строках 1 – 4 представляют расчет мощности, затрачиваемой на трение клубней и их подъем отдельно: на преодоление трения $N_{тр}$ и на подъем клубней $N_{п}$. При этом общий коэффициент A_2 , указанный в строке 3 (табл. 4), также разделен на два коэффициента « a » и « b » (их расчет – в строках 1 и 2), разделение необходимо для ведения в вычисления расчетного диаметра клубня δ . В строках 5 и 6 вычислена дополнительная масса Δm и новое значение порции картофеля. В строках 7 и 8 приведена производительность, рассчитанная по новой массе, и показано её увеличение по отношению к заданной $Q_{пч}$ (см. табл. 1). В строке 9 показано, как можно определить частоту вращения чаши по обобщенной формуле строки 4. Формулы строк 5, 7 и 9 обладают свойством взаимного соответствия (ВОБС), [7]. Получается, что формулы прямого и обратного соответствия связаны в едином расчетном процессе.

Таблица 4

Расчетные характеристики

Параметр	Формула	МОК-125	МОК-150	МОК-250	МОК-300	МОК-400
1. Коэффициент, учитывающий трение клубней	$a = 0,375gf \left(0,875^2 \frac{\delta}{\sqrt{\pi \varphi_m \rho}} \right) 0,6 \frac{\pi}{30\eta}$	0,027	0,031	0,043	0,049	0,059
2. Коэффициент, учитывающий подъем клубней	$b = 0,5g(0,875^2 \frac{\delta}{\sqrt{\pi \varphi_m \rho}}) \frac{\varphi_m}{60\eta}$	0,016	0,017	0,020	0,021	0,023
3. Сумма коэффициентов	$A_2 = a + b$	0,0429	0,0474	0,0630	0,0698	0,0822
4. Общая мощность, [3], Вт	$N = A_2 n_{ч} m^{1,33}$	180,4	246,4	592,8	812,2	1337,0
5. Дополнительная масса (по N_n), кг	$\Delta m = \left(\frac{\Delta N}{A_2 n_{ч}} \right)^{0,75}$	4,715	2,794	0,546	2,335	3,789
6. Новая масса порции, кг	$m_{н} = m + \Delta m$	10,96	10,29	13,05	17,34	23,79
7. Произ-сть (при времени $t=180c$), кг/ч	$Q_{нч} = 3600 m_{н} / t$	219,3	205,9	260,9	346,7	475,8
8. Увеличение производительности, раз	$Q_{нч} / Q_{пч}$	1,75	1,37	1,04	1,16	1,19
9. Проверка строки 4: частота вращения об/мин	$n_{чн} = \frac{N}{A_2 m^{1,33}}$	367,2	356,2	327,1	317,3	302,5

Результаты и обсуждение

Приведенные выше расчеты параметров машин позволяют согласовывать их числовые значения друг с другом непосредственно при проектировании моделей типоразмерного ряда машины МОК. При этом применяется единая методология расчета, которая использует расчетный диаметр клубня картофеля. Процесс расчета представлен формулами, и последовательность расчета определена порядком расположения их в таблицах. Формулы связаны свойствами прямого и обратного соответствия, которые позволяют проектировщику варьировать результаты и определять значения одних параметров при соответственном изменении других. Пример формул, обладающих свойством ВОБС, приведен в строках 5 и 9 (табл. 4).

Выводы

Численными расчетами подтверждена возможность разработки типоразмерного ряда машин МОК по расчетному диаметру клубня. Приведено табличное представление расчетов. Каждая таблица показывает возможность решения одной из задач, поставленных в работе: разработка исходных данных для составления типоразмерного ряда, числовое определение размеров и объема рабочей камеры, расчет мощности процесса очистки и частоты вращения рабочего органа, увеличение производительности при использовании полной мощности электродвигателя. Совокупность расчетов представляет методологическую базу, на которой можно разрабатывать линейки новых моделей картофелечисток, используя другие параметры для составления типоразмерного ряда.

Список литературы

1. Механическое оборудование предприятий общественного питания / В.Д. Елхина, А.А. Журин, Л.П. Проникина и др. – М.: Экономика, 1981.
2. Керженцев В.А. Выявление резервных возможностей машин, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2005. – № 6. – С. 79–82.
3. Керженцев В.А., Курсеитов В.С., Курсеитова Э.С. Метод модернизации оборудования // Мехнізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць національного аграрного університету. – Київ: Видавництво Науково-методичного центру аграрної освіти, 2002. – Т. 13. – С. 352–360.
4. Выявление методами номографии предельных параметров для последующей модернизации машин АПК / В.А. Керженцев, П.Н. Ванчугова, М.В. Пономаренко, А.П. Михайленко // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 11-ой Всероссийской научно-практической конференции, 27 марта 2013 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2013. – С. 254–257.
5. Керженцев В.А., Батова П.Н. Увеличение загрузки картофелечистки МОК за счет доиспользования мощности ее электродвигателя // Материалы 3-й международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, вып. 7.

6. Керженцев В.А., Гугова А.Е. Выявление резервных возможностей картофелеочистительной машины МОК-300 для повышения ее производительности // Наука. Промышленность. Оборона, НПО-2004: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004.

7. Новые перспективные возможности расчета шнековых конвейеров / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, Г.М. Наливайченко, С.Н. Твердохлебов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 85–91.

CALCULATION OF NUMERICAL VALUES OF STANDARD SERIES OF POTATO PEELER

Kerzhencev V. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

Perova N. V., Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

Isakov P.Y., Student, e-mail: fabledomino@gmail.com

Asyutkov K. A., Student, e-mail: asyutkov@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The paper presents the numerical calculation of the parameters of potato peeler. Five models, differing in their productivity, form standard size. The calculations are included in tables. Each table shows the possibility of solving one of the tasks: the determination of main data for complication of standard series; the calculation of main dimension of chamber working volume; the calculation of required power and rotation speed; the increase of productivity at use of full resource of motor power. The calculations according to the developed formulas present an interrelated computing process. This process allows to calculate the design and technological parameters of design models of standard size series.

Keywords

standard series, potato peeler, potato diameter, productivity, force, power.

УДК 643.343.3

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОЧИСТКИ
КАРТОФЕЛЯ В МАШИНАХ МОК***В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент**Т. Г. МАРТЫНОВА, канд. техн. наук**А.Е. БЕЗУГЛОВ, студент**А.А. ЗАБРАЖНОВ, студент**(НГТУ, г. Новосибирск)*

Мартынова Т.Г. – 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

Исследован вопрос определения времени, требуемого для очистки клубней картофеля от наружного покрова, производимого механическим способом в машинах МОК. Определены факторы, влияющие на продолжительность процесса очистки очищающими поверхностями (абразивными) и разработаны формулы, которые позволяют вести вычисления по расчетному диаметру клубня, как среднему арифметическому от диаметров всех клубней в порции. Установлено, что можно использовать этот параметр для вычисления времени очистки клубней. Показано, что время очистки связано с силой прижатия клубней к абразивной поверхности и зависит от площади пятна контакта клубня в момент прижатия, от частоты вращения рабочего органа и других параметров. Показана возможность варьирования в вычислительном процессе этого времени для осуществления более качественной очистки клубней в зависимости от состояния их поверхностного слоя и его влияния на производительность и мощность процесса очистки.

Ключевые слова: картофелеочистительная машина, рабочая камера, абразивная чаша, клубень картофеля, время очистки, производительность, мощность.

Введение

Статья посвящена исследованию принципов расчета времени очистки картофеля, совершаемой механическим способом на картофелеочистительной машине типа МОК периодического действия. Очистка наружного покрова клубней картофеля в машине производится устройством, приведенным на рис. 1, [1], содержащим рабочую камеру и расположенную в ней конусообразную чашу. Внутренние стенки камеры и поверхность чаши, представляют собой очищающие поверхности. Камера может быть выполнена в виде стального цилиндра с отверстиями, пробитыми на его поверхности, или в виде барабана с нанесенным на его внутреннюю поверхность абразивным составом, рис. 1, а.

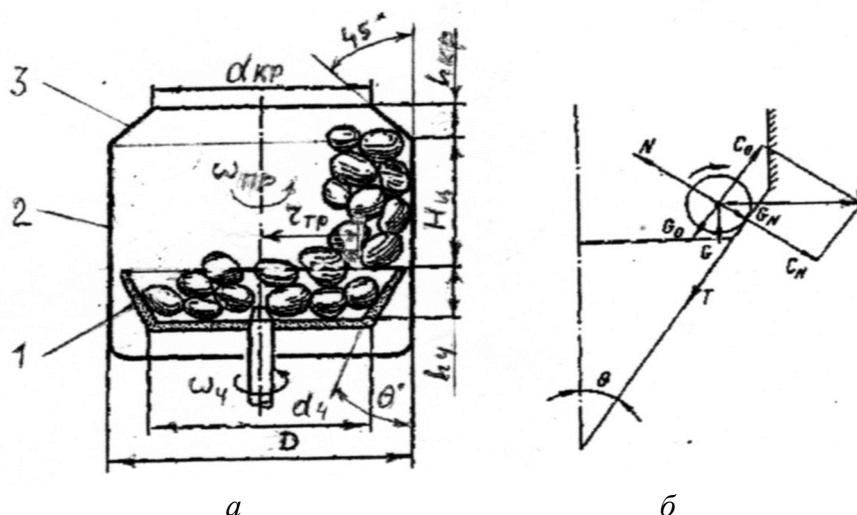


Рис.1. Схема рабочего органа и рабочей камеры машины типа МОК

a – схема: 1 – конусообразная абразивная чаша; 2 – цилиндрическая камера; 3-крышка-отбойник; *б* – силы, действующие на клубень: θ – угол конуса, G – вес клубня, G_N и G_0 – проекции силы веса на образующую конуса и на нормаль к ней, C – центробежная сила, C_0 и C_N – проекции центробежной силы, N – сила реакции, T – сила трения клубня о поверхность

Острые заусенцы пробитых отверстий или острые грани микрочастиц абразива необходимы для сдиранья наружного покрова с поверхности клубней.

Принцип работы машины МОК состоит в следующем: включается электродвигатель, конусообразная чаша разгоняется до рабочей скорости, в камеру подается проточная вода; машина загружается порцией картофеля. Клубни во время работы машины освобождаются от наружного покрова, который удаляется через кольцевой зазор между чашей и камерой. Клубни после полной очистки выгружаются, двигатель выключается, и камера готова к загрузке новой порции. Недостатком такого способа является то, что при разном размере клубней неизбежны потери продукта: поверхности мелких клубней за одно и то же время очистки стираются больше, чем поверхности крупных. Требуется анализ работы машин для повышения качества очищенного продукта и определения времени очистки при минимальной потере продукта. С другой стороны, на качество очистки влияет первоначальное состояние наружного покрова клубней, так как опытом установлено, что при длительном хранении картофеля увеличивается и время очистки из-за дряблости покрова. Таким образом, время очистки является одним из основных параметров. Наиболее подробно процесс очистки картофеля в машинах МОК описан в [1], там же дано примерное время процесса: очистка клубней колеблется от 160 до 200 секунд, время загрузки составляет 5-10 с и время выгрузки равно 5-6 с.

Теоретический расчет времени, необходимого для очистки картофеля от наружного покрова механическим способом, представляет сложную задачу. Так, в работе [2] даны вычисления частоты вращения чаши по расчетному диаметру клубня с применением формул, содержащих фактор времени, но продолжительность времени, как таковое, не рассчитывается. В работах [3] и [4] сделан расчет загрузки машины картофелем увеличенной порции, использующим в формулах параметры времени и частоты вращения чаши. В [5] показан путь повышения эффективности процесса очистки за счет использования резервных возможностей машины, но и в этих случаях время не рассчитывается.

Цель работы – определить параметры и разработать формулы для расчета времени очистки картофеля машиной МОК.

Теория. Расчетные формулы

Предварительно время на очистку клубней можно определить по известной объемной производительности машины ($\text{м}^3/\text{ч}$) и объему порции картофеля в камере машины (м^3). Если разделить производительность на объем порции, то получим число загрузок за расчетное время; а разделив расчетное время (ч) на число загрузок, определим время процесса, необходимое на очистку порции картофеля. Однако этот расчет недостоверен и требует уточнения.

Для определения более точного времени очистки картофеля процесс расчета предлагается таким: рассчитываем число клубней в камере (представляя их как шары одного диаметра), находим площадь соприкосновения одного клубня с абразивной поверхностью (пятно контакта) и определяем число таких контактов на одном клубне, а затем и на всех клубнях в порции. Далее рассчитываем частоту вращения чаши и количество оборотов, которое потребуется для очистки всех пятен на всех клубнях в камере; после этого находим центробежную силу, с которой клубни контактируют с абразивной поверхностью. Задаём глубину врезания микрочастиц в поверхность клубня и приравниваем силу врезания микрочастиц в клубни центробежной силе, находим площадь среза (пятна контакта) при данной глубине вреза микрочастиц. При несогласованности этих величин изменяем частоту вращения, корректируя тем самым силу врезания, площадь и частоту вращения чаши. И окончательно определяем по новой частоте вращения время, за которое можно очистить все клубни в порции.

Предложенная схема расчета основана на понятии «расчетного диаметра» клубня δ , являющегося средним арифметическим от диаметров всех клубней в порции. Рассматривая клубни как шары одного размера, идеализируем процесс очистки, чем и упрощаем разработку формул. Материал шаров соответствует веществу клубня картофеля, плотность которого $\rho_{\text{в}}$, [6]. Эту плотность будем отличать от насыпной плотности картофеля $\rho_{\text{н}}$. Степень некруглости клубней в расчетах учтём введением соответствующих коэффициентов. Исходным параметром будет являться производительность машины Q .

Приведем формулы, необходимые для процесса расчета.

Объем порции картофеля $V_{\text{п}}$, загружаемой в камеру, рассчитываем по геометрическому объему камеры $V_{\text{к}}$ в соответствии с величиной коэффициента загрузки φ :

$$V_{\text{п}} = \varphi V_{\text{к}} \quad (1)$$

Масса порции картофеля m в камере определяется по объему порции и насыпной плотности картофеля $\rho_{\text{н}}$:

$$m = V_{\text{п}} \rho_{\text{н}} \quad (2)$$

Соотношение между всеми членами формул (1) и (2) представлено так:

$$V_{\text{к}} = m / \varphi \rho_{\text{н}} \quad \text{или} \quad V_{\text{п}} = m / \rho_{\text{н}} \quad (3)$$

Расчетный диаметр клубня δ находим по формуле, приведенной в [2]:

$$\delta = \sqrt[3]{m / 12,224 \pi \varphi \rho_{\text{н}}} \quad (4)$$

Ориентировочное время очистки рассчитываем по формуле:

$$T_{\text{оч}} = V_{\text{п}} / Q \quad (5)$$

Объем одного клубня $v_{\text{кл}}$ и его **массу** $m_{1\text{кк}}$ определяем по формулам:

$$v_{\text{кл}} = \delta^3 \frac{\pi}{6}, \quad m_{1\text{кк}} = v_{\text{кл}} \rho_{\text{в}} \quad (6)$$

Число клубней Z_1 **в одном кубическом метре** вычисляем через отношение насыпной плотности картофельной массы $\rho_{\text{н}}$ в одном кубическом метре, к массе одного картофельного клубня $m_{1\text{кк}}$, выражаемое формулой:

$$Z_1 = \rho_{\text{н}} / m_{1\text{кк}} \quad (7)$$

Число клубней в камере машины $z_{\text{кл}}$ находим по формуле:

$$z_{\text{кл}} = V_{\text{п}} Z_1 \quad (8)$$

Площадь внутренней поверхности камеры вычисляем геометрически (рис. 1, а) при $D = \lambda \delta$ и $H_{\text{ц}} = 2\delta$:

$$S_{\text{к}} = \pi D^2 / 4 + \pi D H_{\text{ц}} \quad (9)$$

где D – диаметр камеры, м; $H_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части камеры; λ – поправка на диаметр клубня для свободного движения клубней в камере, [2].

Число клубней z_2 , **способных покрыть всю поверхность** камеры одновременно, считая, что проекция диаметрального сечения клубня на стенку, соответствует величине $s_{\text{кл}}$, находим так:

$$s_{\text{кл}} = \pi \delta^2 / 4, \quad (10)$$

$$z_2 = S_{\text{к}} / s_{\text{кл}} \quad (11)$$

Число z_2 сравниваем с числом $z_{\text{кл}}$ клубней, покрывающим стенку.

Площадь поверхности клубня как шара $s_{\text{ш}}$ составляет величину:

$$s_{\text{ш}} = \pi \delta^2 \quad (12)$$

Радиус пятна контакта r и **площадь пятна** s , которое образуется при срезании части клубня (в момент контакта с абразивом) на глубину вреза, равную величине h , вычисляем по геометрическим формулам:

$$r = \sqrt{h(\delta - h)}, \quad s = \pi r^2 \quad (13)$$

Число пятен контакта ζ , способных покрыть всю поверхность клубня, равно:

$$\zeta = s_{\text{ш}} / s \quad (14)$$

Частота вращения чаши $n_{\text{ч}}$ и её угловая скорость $\omega_{\text{ч}}$ определяется по расчетному диаметру клубня δ , с учетом трех коэффициентов: минимального коэффициента скольжения клубней по стенкам камеры $K_{\text{сmin}}$, коэффициента трения f клубней о стенку и коэффициента интенсификации процесса очистки из-за некруглости клубней K_{ω} :

$$n_{\text{ч}} = \frac{K_{\omega} \cdot 30}{1 - K_{\text{сmin}}} \sqrt{\frac{2f}{\delta}} ; \quad \omega_{\text{ч}} = \pi n_{\text{ч}} / 30 \quad (15)$$

Угловая скорость $\omega_{\text{пр}}$ и **частота вращения массы клубней** $n_{\text{пр}}$ вокруг оси камеры определяются по формулам, содержащим коэффициент скольжения $K_{\text{сmin}}$, который показывает минимальное отставание массы клубней от вращения чаши:

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{ч}}(1 - K_{\text{сmin}}) , \quad n_{\text{пр}} = 30\omega_{\text{пр}} / \pi \quad (16)$$

Время t , за которое вся масса клубней повернется на 1 оборот вокруг оси камеры и при котором на всех клубнях образуется по одному пятну от соприкосновения с абразивом, равно:

$$t = 1 / n_{\text{пр}} \quad (17)$$

Чистое время, за которое все клубни порции очистят свою поверхность (то есть получат пятна числом ζ), есть время, соответствующее величине:

$$T_{\text{оч}} = t\zeta \quad (18)$$

Сила прижатия клубня к стенке определяется центробежной силой инерции одного клубня, вращающегося вокруг оси камеры; её находим по угловой скорости вращения $\omega_{\text{пр}}$ клубня массой $m_{\text{1кл}}$. И эту силу необходимо увеличить на коэффициент K_{Γ} , зависящий от глубины вреза микрочастиц абразива в клубень. Эти силы выражаются следующими формулами:

$$F = m_{\text{1кл}} \omega_{\text{пр}}^2 \frac{D}{2} , \quad F_{\text{в}} = Fz_{\text{кл}} K_{\Gamma} \quad (19)$$

При дальнейших расчетах возникает проблема: если сила прижатия будет недостаточна для срезания пятна, то для её увеличения следует повысить частоту вращения чаши по формулам (15), или же увеличить значение коэффициента трения f (который косвенно и определяет силу срезания). Однако при увеличении частоты вращения число контактов за расчетное время станет больше и, чтобы не срезать лишних слоев с клубня, следует уменьшить время очистки до новой величины $t_{\text{н}}$, применив формулу (17).

Мощность, которая затрачивается на процесс очистки, рассчитываем по работе A , производимой силами вреза микрочастиц во все клубни $z_{\text{кл}}$ на пути, равном суммарной длине диаметров всех пятен ($2r\zeta$) за время $T_{\text{оч}}$. Если полная длина пути составит величину $L = 2r\zeta z_{\text{кл}}$, то работа сил и мощность определяются формулами:

$$A = F_{\text{в}}L , \quad N = A/T_{\text{оч}} , \quad (20)$$

где $F_{\text{в}}$ - сила врезания во все клубни порции.

Мощность процесса очистки можно определить по альтернативной формуле, указанной в [2], в которой она рассчитывается в зависимости от массы порции m и частоты вращения $n_{\text{пр}}$ этой массы и которая имеет вид:

$$N = A_2 n_{\text{пр}} m^{1,33} \quad (21)$$

где A_2 – постоянный коэффициент, характеризующий сумму работ на трение и на подъем клубней, а также учитывающий насыпную плотность продукта и степень заполнения камеры. (Расчет по этой формуле даст возможность решить задачу дискретного энергоподвода к машине, [7]).

Производительность машины $Q_{\text{н}}$ (новая) рассчитывается по массе клубней m , очищенных за время $T_{\text{оч}}$ в соответствии с общепринятой формулой:

$$Q_{\text{н}} = \frac{m}{T_{\text{оч}}} \quad (22)$$

Если заменить параметр m в формуле (21) на его значение $m = Q_{\text{н}} T_{\text{оч}}$, полученное из формулы (22), и сделать соответствующие преобразования, то получим формулу для расчета производительности, зависящую от времени очистки:

$$Q_{\text{н}} = \left(\frac{N_{\text{н}}}{A_2 n_{\text{пр}}} \right)^{0,75} \frac{1}{T_{\text{оч}}} \quad (23)$$

Особенность формулы (23) в том, что она согласовывает входящие в нее параметры друг с другом таким образом, что изменение одного из них приводит к соответствующему изменению других. Например, если заменить время очистки на любое новое $T_{\text{н}}$, (зависимое от состояния наружного покрова клубней), то есть приравнять в формуле (23) $T_{\text{оч}} = T_{\text{н}}$, то при заданных и неизменяемых значениях параметров $N_{\text{н}}$ и $Q_{\text{н}}$ частота вращения также должна быть изменена. Но в то же время, если при расчете формулы (23) частоту вращения $n_{\text{пр}}$ сохранить без изменения, то в результате расчета изменится величина производительности. Аналогичным образом можно выбирать нужную частоту вращения $n_{\text{м}}$. И тогда можно при проектировании машины применять любые (необходимые) двигатели, подставляя в формулу (23) их мощности. Такое согласование формул возможно из-за свойства взаимного соответствия (ВОБС), [8], при котором аргумент $N_{\text{н}}$ обеспечивает согласованное изменение значений переменных $Q_{\text{н}}$, $n_{\text{пр}}$ и $T_{\text{оч}}(t)$.

Результаты и обсуждение

Разработанные формулы позволяют рассчитать время, требуемое на очистку картофеля, приняв в качестве основного фактора «расчетный диаметр» клубня. Он дает возможность разработать и другие формулы расчета конструктивно-технологических параметров, необходимых для проектирования машин. Другая особенность предложенного расчетного процесса состоит в наличии в нем формул, обладающих свойством ВОБС, которое предполагает варьирование числовых значений одних параметров при целенаправленном изменении других. Например, в формуле (17), обладающей этим свойством, можно рассчитывать параметры n и t , используя аргумент «единица», то есть относительно неё можно вычислять значение одного параметра при известном значении

другого, а, при обратном преобразовании формулы, делать это наоборот. А в формуле (23) можно вычислять значения переменных $Q_{н}$, $n_{пр}$ и t при заданном значении аргумента N , целенаправленно изменяя значения одних из них при вычислении других. Кроме этого, приведенные формулы создают основу для дальнейшего исследования времени очистки картофеля, если потребуется варьировать глубину врезания микрочастиц абразива в клубень при очистке дряблой поверхности.

Выводы

Разработаны формулы для определения времени очистки порции картофеля по расчетному диаметру клубня. Представление клубней в виде шаров одного размера позволило разработать формулы идеализированного процесса расчета и установить соотношения, существующие между частотой вращения чаши, глубиной и силой вреза в клубень микрочастиц, а также между размерами пятна контакта и их числа на клубне. В конечном счете, представлены формулы, посредством которых можно рассчитывать конструктивно-технологические параметры механической структуры картофелечистки еще на стадии проектирования, и выбирать лучшие эксплуатационные характеристики. Введение в расчет параметра «время очистки» как аргумента даёт возможность варьировать значения мощности и производительности машины для выбора наилучшего варианта её работы, включая степень дряблости наружного покрова клубней после длительного хранения.

Список литературы

1. Механическое оборудование предприятий общественного питания / В.Д. Елхина, А.А. Журин, Л.П. Проничкина и др. – М.: Экономика, 1981.
2. Керженцев В.А., Курсеитов В.С., Курсеитова Э.С. Метод модернизации оборудования // Мехнізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць національного аграрного університету. – Київ: Видавництво Науково-методичного центру аграрної освіти, 2002. – Т. 13. – С. 352–360.
3. Керженцев В.А., Батова П.Н. Увеличение загрузки картофелечистки МОК за счет доиспользования мощности ее электродвигателя // Материалы 3-й международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, вып. 7.
4. Керженцев В.А., Гутова А.Е. Выявление резервных возможностей картофелеочистительной машины МОК-300 для повышения ее производительности // Наука. Промышленность. Оборона, НПО-2004: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004.
5. Керженцев В.А. Выявление резервных возможностей машин, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2005. – № 6. – С. 79–82.
6. Лабораторный практикум по технологическому оборудованию пищевых производств / С.Т. Антипов, А.М. Гавриленков, В.Е. Добромиров и др.; Воронежская государственная технологическая академия. – Воронеж, 1999. – 440 с.
7. Мосина Н.А. Совершенствование процесса и аппарата с дискретным энергоподводом для очистки картофеля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2011.
8. Керженцев В.А., Перова Н.В. Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путём переопределения независимой переменной (аргумента) // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 4 (51). – С. 48–62.

THEORETICAL DETERMINATION OF TIME FOR POTATOES PEELING BY MOK MACHINES

Kerzhencev V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

Martynova T.G., Ph.D. (Engineering), e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

Bezuglov A.E., Student, e-mail: alexandrbezuglov96@mail.ru

Zabrazhnov A.A., Student, e-mail: zabragenov@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The article discusses the determination issue of time required for peeling potato tuber from its jacket carried out mechanically by MOK machines. Factors influencing the peeling process' duration by peeling (abrasive) surfaces were determined. Formulas that allow to make calculations based on an estimated tuber diameter, which is considered an arithmetic mean of all tubers' diameters in a batch were developed. It has been found out that it is possible to use this parameter for calculating tubers peeling time. It has been demonstrated that the peeling time is correlated with the force pressing tubers to the abrasive surface and depends on the area of a tuber's contact spot at the moment of application, as well as on operation body rotation frequency and other parameters. It has been shown that it is possible to vary the time calculation process in order to provide higher quality tuber peeling depending on their jackets state, as well as its impact on peeling capacity and power.

Keywords

potato peeling machine, operation camera, abrasive bowl, potato tuber, peeling time, capacity, power

УДК 643.343.3

**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОЧИСТКИ КАРТОФЕЛЯ
В МАШИНАХ ТИПА МОК***В. А. КЕРЖЕНЦЕВ, канд. техн. наук, доцент**Т.Г. МАРТЫНОВА, канд. техн. наук**Д.Н. РЯЗАНОВ, студент**А.С. ГИЗЗАТУЛЛИН, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Мартынова Т.Г. – 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: tatyana martynova1511@gmail.com

В статье представлен процесс численного расчета времени очистки картофеля от наружного покрова для трех моделей машин МОК. Основой для расчета служит «расчетный диаметр» клубня, рассматриваемый как шар, диаметр которого равен среднему диаметру всех клубней в порции. Формулы, составляющие расчетный процесс, представлены в табличной форме, и каждая таблица формирует алгоритм решения одной из четырех задач: выбор исходных данных, расчет числа клубней в камере и количества пятен контакта клубня с абразивными поверхностями камер, расчет сил срезания наружного слоя, частоты вращения чаши и мощности процесса. Эти факторы определяют в конечном итоге время очистки клубней, производительность машины и мощность процесса очистки. Сравнение результатов расчетов по типоразмерам машин позволили установить общие закономерности, необходимые для проектирования их конструкций.

Ключевые слова: картофелеочистительная машина, абразивная камера, время очистки, диаметр клубня, пятно контакта, центробежная сила, мощность, производительность.

Введение

Определение времени очистки картофеля от наружного покрова в машинах типа МОК является сложным вычислительным процессом по следующим причинам. Это - неопределенность факторов, очищающих поверхностей (абразивных), воздействующих на клубни, и время очистки мелких и крупных клубней, смешанных в одной камере. При этом для мелких клубней образуется лишнее время очистки, при котором доочищаются крупные, и за это время мелкие теряют часть доброкачественного слоя продукта. Снизить эти потери можно, если использовать специальные пищевые сорта картофеля или сортировать клубни по диаметру. Но можно ввести в расчет среднее арифметическое от диаметров клубней в порции и принять его как «расчетный диаметр». Если разница в диаметрах клубней не велика, то степень очистки будет качественней. В паспортах машин МОК время очистки дается нормативно, или оно может быть определено по общим принципам расчета, применяемых к машинам периодического действия. В работе [1] показана схема взаимодействия клубня с камерой машины при её работе, приведенная на рис. 1.

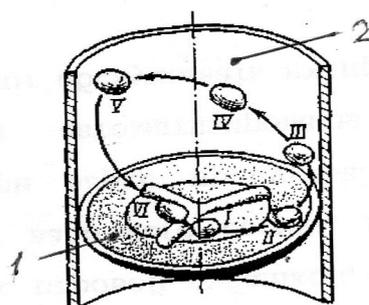


Рис. 1. Схема взаимодействия клубня с абразивными поверхностями конусообразной чаши 1 и камеры 2, позиции I, II, III, IV, V, VI – точки контакта

В других работах, например [2-4], параметр времени применяется как фактор для расчетов других величин и его численное значение не рассчитывается. А в работе [5] в расчеты введено понятие «количество движения» для сообщения массе картофеля, находящегося в камере, ударных импульсов, содержащих временные факторы. Возможен и такой путь расчета времени - определение силы, с какой микрочастицы абразива внедряются в клубень и эта сила зависит от частоты вращения рабочего органа, определяемого временем. Рассчитаем это время.

Цель работы – рассчитать по приведенным формулам время очистки картофеля в машинах МОК и связанные с этим временем соответствующие параметры машин.

Теория. Числовые расчеты и пояснения

Расчеты представлены в форме таблиц, сформированных по типам задач, приводящих к вычислению времени процесса очистки: выбор исходных данных, расчет числа клубней в камере и числа пятен при контакте их с абразивными поверхностями, определение времени очистки порции картофеля по частоте вращения чаши и расчет сил и мощности среза наружного слоя при очистке. Вычисления проводим для трех типоразмеров машин МОК Барановичского завода. Обоснования применения различных факторов вводим по ходу вычислительного процесса; они могут быть спорными, но правильность основных результатов может быть подтверждена сравнением их со значениями паспортов. Клубни представим в виде шаров, имеющих одинаковые диаметры, материал которых соответствует материалу клубня картофеля ($\rho_b = 1034 \text{ кг/м}^3$, [6]), а насыпная плотность картофеля равна $\rho_n = 660 \text{ кг/м}^3$. Принимаем коэффициент загрузки камеры продуктом, равным $\phi = 0,6$, [1]. Вначале определяем значение «расчетного диаметра» клубня картофеля δ и по нему ведем расчет геометрических размеров камеры и кинематических характеристик картофелечистки.

Общий порядок расчета представлен в таблицах последовательностью строк. Вычисления произведены в соответствующих размерностях системы СИ.

Исходные данные для ведения расчетов

В таблицу 1 выписываем из паспортов исходные данные трех моделей: производительность, объем камер и массу порций картофеля. Вычислениями находим по массе порции расчетный диаметр клубня, соответствующий занимаемому в камере объему порции [4] и рассчитываем ориентировочное время очистки порции. Ориентировочное время характеризует общие эксплуатационные свойства данного типа машин, а вычисление конкретного времени (предлагаемого в качестве техники процесса расчета) приведено в других таблицах.

Таблица 1

Исходные данные

Параметр	Формула	Модель 1	Мод. 2	Модель 3
1.Производительность часовая задана, кг/ч	Задана в паспортом, Q_3	125	250	400
2.Объемная производительность (рассчитана по насыпной плотности), $дм^3/с$	$Q_{обс} = Q_3 / \rho_n$	0,0526	0,1052	0,1684
3.Геометрический объем камеры, $дм^3$	Задан паспортом, V_k	16	28	50
4.Масса порции, кг	Задана паспортом, m	6	11	21
5.Объем порции картофеля (рассчитан по коэффициенту загрузки $\varphi=0,6$), $дм^3$	$V_n = V_k \varphi$	9.6	16,8	30,0
6.Масса порции расчетная, кг	$m_p = V_n \rho_n$	6,336	11,088	19,8
7.Расчетный диаметр клубня, [4], м	$\delta = \sqrt[3]{m/12,224\pi\varphi\rho_n}$	0,0747	0,090	0,109
8.Время очистки (рассчитано ориентировочно по производительности), с	$t_{оп} = V_n / Q_{обс}$	182,48	159,67	178,2
9.Мощность электродвигателя модели, кВт	Задана паспортом, N_3	0,37	0,55	1,1

Пояснения к табл. 1. Объем порции картофеля в камере рассчитан по коэффициенту загрузки камеры φ (строка 5), а масса порции - по насыпной плотности ρ_n (строка 6). Расчетный диаметр клубня определен по [4] в строке 7. Перевод массы в объем, занимаемый порцией, необходим для определения ориентировочного времени очистки порции (строка 8). Ориентировочное время колеблется по моделям от 159,67 до 182,48 с, разность составляет 22,81 с. (Время очистки порции картофеля, определенное по результатам расчетов, приведено в табл. 3).

Число клубней в порции и количество их контактов с абразивом

Расчет приведен в таблице 2. В строках 1 и 2 таблицы определяем по расчетному диаметру клубня объем и массу одного клубня, а в строках 3, 4 и 5 – количество клубней в $1 м^3$ (для составления пропорции). Здесь же находим объем порции картофеля и число клубней в ней. В строках 6, 7 и 8 находим размеры камеры и площадь её внутренней поверхности. По площади диаметрального сечения клубня (строка 9), определяем число клубней, которые могут быть прижаты к внутренней поверхности камеры, то есть, то число их, которое способно во время вращения чаши покрыть всю поверхность камеры (строка 10). Полагаем, что за один оборот чаши каждый клубень в камере, хотя бы один раз соприкоснется с абразивной поверхностью (считая её плоской) и на клубне появится очищенное пятно. Таким образом, получается, что за один оборот всех клубней вокруг оси камеры, каждый клубень получили бы по одному очищенному пятну. Аналогично, за второй оборот клубни получили бы еще по пятну, и так далее. Сколько пятен необходимо для покрытия площади клубня определяем так. В строке 11 находим площадь поверхности клубня, а в строках 12 и 13 радиусы пятен вреза абразивных частиц и площади пятен (строки 14 и 15 для двух вариантов глубины врезания: $h_1 = 0,55$ мм и $h_2 = 1$ мм). Число пятен определяется делением площади поверхности клубня на площадь пятна (строки 16 и 17 по вариантам вреза). Это число можно соотнести с числом оборотов чаши, за которое вся поверхность клубня очистилась бы от кожуры,

Таблица 2

Результаты расчета

Параметр	Формула	Варианты типоразмеров МОК		
		Модель 1	Модель 2	Модель 3
1. Объем одного клубня, дм^3	$v_{\text{кл}} = \delta^3 \frac{\pi}{6}$	0,218	0,382	0,682
2. Масса одного клубня, $m_{1\text{кл}}$, кг	$m_{1\text{кл}} = v_{\text{кл}} \rho_{\text{в}}$	0,226	0,395	0,705
3. Число клубней в кубическом метре, $Z_{1\text{м}}$	$Z_1 = \rho_{\text{н}} / m_{1\text{кл}}$	2926	1672	936,3
4. Объем порции картофеля (проверка), дм^3	$V_{\text{п}} = m / \rho_{\text{н}}$	9,6	16,8	30,0
5. Число клубней в камере, $z_{\text{кл}}$, шт	$z_{\text{кл}} = V_{\text{к}} Z_1$	28	28	28
6. Внутренний диаметр камеры, D , м	$D = \lambda \delta$	0,306	0,369	0,448
7. Высота абразивной стенки, H , м	$H = 2\delta$	0,149	0,180	0,218
8. Площадь поверхности внутри камеры, $S_{\text{к}}$, м^2	$S_{\text{к}} = \pi D^2 / 4 + \pi D H$	0,221	0,321	0,472
9. Площадь диаметрального сечения клубня как проекция на стенку, м^2	$s_{\text{кл}} = \pi \delta^2 / 4$	$4,38 \cdot 10^{-3}$	$6,36 \cdot 10^{-3}$	$9,36 \cdot 10^{-3}$
10. Возможное число клубней, прижатых ко всей поверхности камеры, шт	$z_2 = S_{\text{к}} / s_{\text{кл}}$	50,4	50,4	50,4
11. Площадь поверхности клубня, рассматриваемого как шар, м^2	$s_{\text{ш}} = \pi \delta^2$	0,017525	0,025450	0,037459
12. Радиус пятна среза на клубне при глубине среза $h_1=0,55$ мм; мм	$r_1 = \sqrt{h_1(\delta - h_1)}$	6,38	7,01	7,73
13. Радиус пятна среза на клубне при глубине среза $h_2=1$ мм; мм	$r_2 = \sqrt{h_2(\delta - h_2)}$	8,58	9,43	10,0
14. Площадь пятна по радиусу r_1 ; s_1 , м^2	$s_1 = \pi r_1^2$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-4}$
15. Площадь пятна по радиусу r_2 ; s_2 , м^2	$s_2 = \pi r_2^2$	$2,31 \cdot 10^{-4}$	$2,80 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-4}$
16. Число пятен, уместяющихся на клубне как на шаре, при s_1 , шт	$\zeta_1 = s_{\text{ш}} / s_1$	136,8	164,6	199,5
17. Число пятен, уместяющихся на клубне как на шаре, при s_2 , шт	$\zeta_2 = s_{\text{ш}} / s_2$	75,7	91,0	110,2

Пояснения к табл. 2. Объем клубня определен по общеизвестной геометрической формуле (строка 1). Число клубней в одном кубическом метре и число клубней в камере (строки 3 и 5) находим по плотности материала клубня ($\rho_{\text{в}}$) и насыпной плотности ($\rho_{\text{н}}$) с помощью пропорций. Площадь внутренней поверхности камеры рассчитана по диаметру и высоте самой камеры (строки 6-8) с учетом коэффициента $\lambda = 4,1$, принятого по условию свободного движения клубней внутри камеры, [1]. Площадь диаметрального сечения клубня рассчитана в строке 9; а расчет числа клубней, прижатых ко всей стенке камеры одновременно, вычислена в строке 10. При сравнении значений строки 10 со строкой 5 можно понять, что все $z_{\text{кл}}$ клубней ($z_{\text{кл}} = 28$), находящихся в камере, могут быть прижаты в каждом обороте к стенке камеры. Число пятен на клубне (строки 16 и 17) определено также для обоих вариантов глубины вреза микрочастиц абразива в поверхность клубня.

Время очистки одного клубня и всех клубней в порции

Расчет приведен в табл. 3. В строках 1 – 3 таблицы определена частота вращения чаши и частота вращения массы картофеля в камере, которая отстает от скорости вращения чаши из-за скольжения клубней по дну чаши. Это отставание определяется минимальным коэффициентом скольжения $K_{\text{сmin}}$ клубней. В строке 4 рассчитана продолжительность одного оборота всей массы клубней. А в строке 5 определена продолжительность очистки всех пятен на одном клубне по обоим вариантам глубины вреза микрочастиц в клубень (глубину вреза см. табл.2, строки 12 и 13). В строке 6 к чистому времени очистки всей порции добавлено время загрузки-разгрузки продукта в камеру, зависящее от типа модели [1]; по этому общему времени рассчитана в строке 7 производительность (для обоих вариантов глубины вреза. В строках 8 и 9 выявлены возможные потери продукта, которые образовались бы, если производить обработку клубней разных диаметров в одной камере.

Таблица 3

Результаты расчета				
Параметр	Формула	Модель1	Модель2	Модель3
1.Частота вращения чаши (по [1], об/мин	$n_{\text{ч}} = \frac{K_{\omega} \cdot 30}{1 - K_{\text{сmin}}} \sqrt{\frac{2f}{\delta}}$	366,34	333,72	303,0
2.Скорость вращения, рад/с	$\omega_{\text{ч}} = \pi n_{\text{ч}} / 30$	38,36	34,95	31,73
3.Скорость и частота вращения массы порции, рад/с, об/с	$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{ч}}(1 - K_{\text{сmin}})$ $n_{\text{пр}} = 30\omega_{\text{пр}} / \pi$	30,69 4,88	27,96 4,45	25,38 4,04
4.Продолжительность одного оборота порции, с	$t = 1 / n_{\text{пр}}$	0,205	0,225	0,248
5.Время очистки всех пятен на клубне при глубинах h_1 и h_2 , с	$T_{\text{оч1}} = \mu t \zeta_1$ $T_{\text{оч2}} = \mu t \zeta_2$	168,0 93,0	222,0 122,7	296,4 163,7
6.Общее время очистки (tзр по моделям: +10,+13,+16), с	$T_{\text{общ1}} = T_{\text{оч1}} + t_{\text{зр}}$ $T_{\text{общ2}} = T_{\text{оч2}} + t_{\text{зр}}$	178,0 103,0	235,0 135,8	312,4 179,7
7.Производительность по общему времени очистки при глубине h_1 и h_2 , кг/ч	$Q_1 = m_{\text{п}} / T_{\text{общ1}}$ $Q_2 = m_{\text{п}} / T_{\text{общ2}}$	128,1 221,5	169,8 294,1	228,2 396,7
8.Излишнее время очистки мелких клубней, (два вар.по глубине среза), с	$T_{\text{доп1}} = T_{\text{мод2}} - T_{\text{мод1}}$ $T_{\text{доп2}} = T_{\text{мод3}} - T_{\text{мод2}}$	54,0 29,7	74,3 40,9	0 0
9.Число лишних оборотов для мелких клубней для 2-х вариантов, шт	$\zeta_{\text{доп1}} = T_{\text{доп1}} / t$ $\zeta_{\text{доп2}} = T_{\text{доп2}} / t$	263,6 145,3	330,8 182,2	0 0

Пояснения к табл. 3. Формула для определения частоты и скорости вращения чаши (строки 1 и 2) преобразованы из [1] введением в вычисления «расчетного диаметра» клубня. В строках 3 – 4 рассчитано время t одного оборота клубней вокруг оси камеры (с учетом коэффициента $K_{\text{сmin}} = 0,2$ [1]). А в строке 5 определено для обоих вариантов вреза время, которое потребуется для очистки всех пятен на клубне. Это время увеличено в μ раз из-за того, что клубни могут контактировать со стенками за один оборот несколько раз (принято, что $\mu = 6$, рис. 1). В то же время, в течение каждого оборота все $z_{\text{кл}}$ клубней порции, находящиеся в одной камере, сделают свои касания со стенками камеры. В результате расчетов получено время $T_{\text{оч}}$, которое необходимо для очистки всех $\mu \zeta$ пятен на всех $z_{\text{кл}}$

клубнях порции. В строке 6 дано общее время очистки всех клубней с учетом времени загрузки-разгрузки продукта. Для трех рассматриваемых моделей 1, 2, и 3 время загрузки-разгрузки принято таким: 10 с, 13 с и 16 с соответственно, [1]. Суммарное, общее время обработки порции колеблется от 178 до 312,4 с для первого варианта врезания (h_1), и от 103 до 179,7 с для второго варианта (h_2), что сравнимо со строкой 8, табл. 1. В строке 7 рассчитана производительность по общему времени очистки, и её значение сравнимо с ориентировочным временем (строка 8, табл. 1).

В строке 8 (табл. 3) вычислено излишнее время, появляющееся при обработке мелких клубней за счет времени, отведенного для очистки крупных при их смешении. В этом случае представим, что в одной камере смешаны клубни двух разных диаметров, равных $\delta = 0,0747$ и $\delta = 0,090$ м, относящихся к моделям 1 и 2 (см. строку 7, табл. 1). Тогда мелкие клубни при обработке потеряют часть доброкачественного продукта, так они сделают 263,6 лишних оборота при глубине вреза h_1 (строка 9, табл. 3), и 145,3 лишних оборота при глубине вреза h_2 . Если же в камере смешать клубни моделей 2 и 3, то мелкие клубни (0,090 мм) сделают 330,8 лишних оборота при глубине вреза h_1 и 183,2 лишних оборота при глубине h_2 , и тогда в этом случае мелкие клубни потеряют больше доброкачественного продукта. Расчеты показывают, что при смешении мелкие клубни сделают в χ раз больше лишних оборотов, чем при отсутствии в камере крупных клубней ($\chi \approx \zeta_{доп1}/\zeta_1 \approx 2$). Для модели 3 проставлены в строках 8 и 9 нули, так как в нормальном режиме работы они не имеют лишних оборотов.

Сила среза слоя с поверхности клубня и мощность процесса очистки

Расчет приведен в таблице 4. В строках 1 вычислена центробежная сила, действующая от вращающейся чаши на один клубень. В строке 2 вычислена сила вреза микрочастиц абразива во все клубни в порции для обоих вариантов вреза микрочастиц в клубень. В строках 3 и 4 рассчитана длина пути сил среза, равная сумме длин пятен на всех клубнях, и работа, производимая на этом пути. В строке 5 вычислена для обоих вариантов мощность процесса очистки за время $T_{оч1}$ и $T_{оч2}$ (см. строку 5, табл. 3). В строке 6 дана комплексная формула расчета мощности по [4], которая позволяет вычислить в строках 7 – 10 значения параметров m , Q , n для сравнения с ними значений, рассчитанных в данной работе выше.

Таблица 4

Результаты расчета

Параметр	Формула	Модель 1	Модель 2	Модель 3
1. Центробежная сила инерции одного клубня (равна силе контакта со стенкой), Н	$F = m_{1кк} \omega_{пр}^2 \frac{D}{2}$	32,5	56,9	101,6
2. Сила вреза во все клубни порции (по коэфф. глубины вреза) для $h_1 - K_{гп1} = 1,0$; Н для $h_2 - K_{гп2} = 1,2$; Н	$F_{в1} = Fz_{кл} K_{гп1}$ $F_{в2} = Fz_{кл} K_{гп2}$	913,8 1096	1599 1919	2855 3427
3. Суммарная длина пути для силы вреза на всех клубнях (два варианта глубины), м	$L_{п1} = 2r_1 \zeta_1 z_{кл}$ $L_{п2} = 2r_2 \zeta_2 z_{кл}$	49,1 36,5	64,9 48,2	86,6 64,4
4. Работа по срезанию всех пятен на суммарной длине окружностей всех клубней (для двух вариантов глубины), Нм	$A_1 = F_{в1} L_{п1}$ $A_2 = F_{в2} L_{п2}$	44844 40031	103751 92565	247442 220667
5. Мощность очистки всех пятен на	$N_1 = F_{в1} L_{п1} / T_{оч1}$	266,8	467,3	834,9

всех клубнях: - за время $T_{оч1}$ (глубина $h_1=0,55$ мм) - за время $T_{оч2}$ (глубина $h_2=1$ мм), Вт	$N_2 = A_2 / T_{оч1}$	430,5	754,2	1348,2
6. Комплексная формула мощность (по [4] при $A_2=0,05695$), Вт	$N = A_2 n_{пр} m^{1,33}$	243,1	466,2	915,1
7. Проверка: масса продукта, рассчитанная исходя из формулы в строке 8; кг	$m_p = (\frac{N}{A_2 n_{пр}})^{0,75}$	6,31	11,0	19,65
8. Производительность новая при глубине среза $h_1=0.55$ мм и времени общей очистки $T_{общ1}$, кг/ч	$Q_1 = (\frac{N_n}{A_2 n_{пр}})^{0,75} \frac{1}{T_{общ1}}$	127,5	168,8	226,5
9. Производительность новая при глубине среза $h_2=1$ мм и времени общей очистки $T_{общ2}$, кг/ч	$Q_2 = (\frac{N_n}{A_2 n_{пр}})^{0,75} \frac{1}{T_{общ2}}$	220,5	292,3	393,7
10. Частота вращения (рассчитана для проверки заданных в ТХ), об/мин	$n_m = \frac{N_n}{A_2 m_p^{1,33}}$	366,3	333,7	303,0

Пояснения к табл. 4. Центробежная сила F (строка 1) рассчитана по общеизвестной формуле. В строке 2 эта сила увеличена по числу клубней в порции, так как принято, что за каждый оборот клубней вокруг оси камеры все они могут быть прижаты к стенке камеры. Считая, что в момент контакта глубина врезания микрочастиц абразива и сила врезания согласованы друг с другом (так как при увеличении глубины вреза h силы увеличивается), то назначаем для обоих вариантов следующие корректирующие коэффициенты: для глубины вреза h_1 коэффициент, равный $K_{г1} = 1,0$ а для глубины h_2 коэффициент, равный $K_{г2}=1,2$. Суммарная длина пути (проходимая микрочастицам абразива на поверхности клубней при их врезе) вычислена в строке 3: она рассчитывается как сумма диаметров пятен ($2 \cdot r$), полученная на всех $z_{кл}$ клубнях за один оборот, умноженная на число пятен ζ , образуемых на клубнях за все обороты (то есть за все время очистки всех клубней в порции). В строке 4 и 5 вычислена работа по срезанию наружного слоя с клубней и мощность процесса очистки по общеизвестным формулам. Чистое время очистки клубней $T_{оч}$ для обоих вариантов глубины среза пятна получено в строке 5, табл. 3.

Интересно отметить, что в результате расчетов получена величина мощности (строка 5, табл. 4) для глубины вреза $h_1= 0,55$ мм, и эта мощность для всех трех моделей близка к мощности электродвигателей, установленных на этих машинах (см. строку 9, табл. 1). В то же время, в строке 6 (табл. 4) вычислена мощность по [4] (как альтернативная) и она связывает в одном комплексном уравнении главные технические характеристики машин. Путём её преобразований (строки 7 – 10, табл. 4) рассчитаны главные параметры машин. Результаты сравнения этих параметров со значениями, рассчитанными выше в таблицах 2, 3 и 4 показывают их хорошее совпадение.

Результаты и обсуждение

Формулы, предложенные для вычислений, позволили рассчитать численные значения времени очистки и необходимые для этого расчета соответствующие параметры машин. Результаты достаточно близко совпадают с параметрами, заданными в паспортах или первоначально рассчитанных исходных данных (табл. 1). Это говорит о том, что формулы можно использовать при проектировании машин. Особенно это относится к параметру времени очистки. Но есть и отличия в результатах вычислений. Например, установлено, что

число клубней в камерах для всех трех моделей (строка 5, табл. 2), одинаково и что это число приблизительно в два раза меньше, чем может быть прижато ко всей внутренней поверхности камеры центробежными силами при работе машин.

Выводы

В результате проведенных вычислений установлено, что расчетное значение времени очистки картофеля сравнимо с ориентировочным, соответственно и формулы, разработанные на базе расчетного диаметра клубня также применимы для вычислений. Получена расчетная база для варьирования времени очистки картофеля, которую можно использовать для оперативного управления производством. Предложенный процесс расчета дает возможность находить согласованные значения одних параметров, по значениям других, что может быть использовано для проектирования конструкций подобных машин.

Список литературы

1. Механическое оборудование предприятий общественного питания / В.Д. Елхина, А.А. Журин, Л.П. Проничкина и др. – М.: Экономика, 1981.
2. *Керженцев В.А.* Выявление резервных возможностей машин, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2005. – № 6. – С. 79–82.
3. Выявление методами номографии предельных параметров для последующей модернизации машин АПК / В.А. Керженцев, П.Н. Ванчугова, М.В. Пономаренко, А.П. Михайленко // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 11-ой Всероссийской научно-практической конференции, 27 марта 2013 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2013. – С. 254–257.
4. *Керженцев В.А., Курсеитов В.С., Курсеитова Э.С.* Метод модернизации оборудования // Мехнізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць національного аграрного університету. – Київ: Видавництво Науково-методичного центру аграрної освіти, 2002. – Т. 13. – С. 352–360.
5. *Керженцев В.А., Батова П.Н.* Увеличение загрузки картофелечистки МОК за счет доиспользования мощности ее электродвигателя // Материалы 3-й международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, вып. 7.
6. Лабораторный практикум по технологическому оборудованию пищевых производств / С.Т. Антипов, А.М. Гавриленков, В.Е. Добромиров и др.; Воронежская государственная технологическая академия. – Воронеж, 1999. – 440 с.

NUMERICAL CALCULATION OF THE POTATO CLEANING TIME IN THE MOK MACHINE

Kerzhencev V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kerjencev46@ngs.ru

Martynova T.G., Ph.D. (Engineering), e-mail: tatyamartynova1511@gmail.com

Gizatullin A.S., Student, e-mail: gizatullin_99@mail.ru

Ryazanov D.N., Student, e-mail: ryazanovnsk@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In article presents the process of numerical calculating the time of potato cleaning from the outer peel for three models of MOK machines. The basis for calculations is the “calculated diameter” tuber, considered as an orb, whose diameter is equal to the average diameter of all the tubers in the serving. Formulas that make up the calculation process are presented in tabular form and each table forms an algorithm for solving four tasks: the choice of initial data, the calculation of the number of tubers in the chamber and the number of tooth contact of the tuber with the abrasive surfaces of the chambers, calculating the cutoff forces of the outer layer, rotational speed of the bowl and the power of the process. These factors ultimately determine the cleaning time of tubers, the productivity of the machine and the power of the cleaning process. Comparison of the results of calculations by machine standard sizes allowed to establish general regularities, necessary for the design of their structures

Keywords

potato brusher machine, abrasive camera, cleaning time, diameter of a tuber, tooth contact, centrifugal force, power, productivity.

УДК 004.942

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЯ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ «БРИЗ»

*А.Г. ОВЧАРЕНКО*¹, доктор техн. наук, профессор
*В.В. ВИНОГРАДСКИЙ*², канд. техн. наук, главный инженер
*М.О. КУРЕПИН*¹, инженер
(¹ БТИ АлтГТУ, г. Бийск,
² ЗАО ПО «Спецавтоматика», г. Бийск)

Овчаренко А.Г. – 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27
Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного
технического университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Рассмотрено численное моделирование процесса распыления воды в оросителях типа «Бриз» с помощью программы FlowVision. Получены модели распределения векторов скоростей внутри и снаружи одной из конструкций оросителей. Модели позволили уточнить процесс распыления воды в действующих оросителях тонкораспыленной воды и предложить варианты совершенствования конструкции распылителей. Это приведет к повышению качества пожаротушения и снизит себестоимость готового изделия.

Ключевые слова: ороситель, численное моделирование, тонкораспыленная вода, распыление, FlowVision.

Введение

Ороситель спринклерный тонкораспыленной воды «Бриз» (далее ороситель) предназначен для равномерного распыления воды по защищаемой площади и объему путем создания тонкодисперсного потока огнетушащего вещества. Применяется для тушения и локализации пожара, создания водяных завес, охлаждения несущих поверхностей и технологического оборудования [1-4].

Основной целью рассматриваемой работы является описание гидродинамических процессов, происходящих внутри оросителя при срабатывании системы пожаротушения, а также совершенствование конструкции действующих оросителей. Для анализа процессов орошения была использована программа FlowVision.

FlowVision – САЕ-система вычислительной аэро-, гидро- и газовой динамики. Позволяет моделировать течение жидкости и газа в любых промышленных и природных объектах с учетом физических эффектов - турбулентности, теплопередачи, фазовых переходов, горения и прочее. Основана на численном решении уравнений Навье-Стокса, описывающих движение жидкости и газа [5, 6, 7].

Теоретическая часть

На рисунке 1а показана конструкция спринклерного оросителя «Бриз» в рабочем состоянии. Из рисунка видно, что основными элементами, влияющими на распыление воды являются рассекатель 3 и втулка 4. В основу действия оросителя при проектировании была заложена следующая теоретическая модель получения факела распыленной воды (рисунок 1б). Поток вода разделяется на девять струй при помощи втулки 4, имеющей восемь

отверстий малого диаметра и одно центральное отверстие большего диаметра. При этом диаметр центрального отверстия более чем в два раза больше диаметра малых отверстий. Далее струи воды из отверстий малого диаметра ударяются в струю воды центрального отверстия, при этом частично отражаются и частично разрушаются. При попадании центральной струи на рассекатель 4 она отражается и взаимодействует со струями воды из отверстий малого диаметра, ранее отраженных от центральной струи. Это предположение позволяло сделать вывод о полном разрушении струй и образованию факела тонкораспыленной воды.

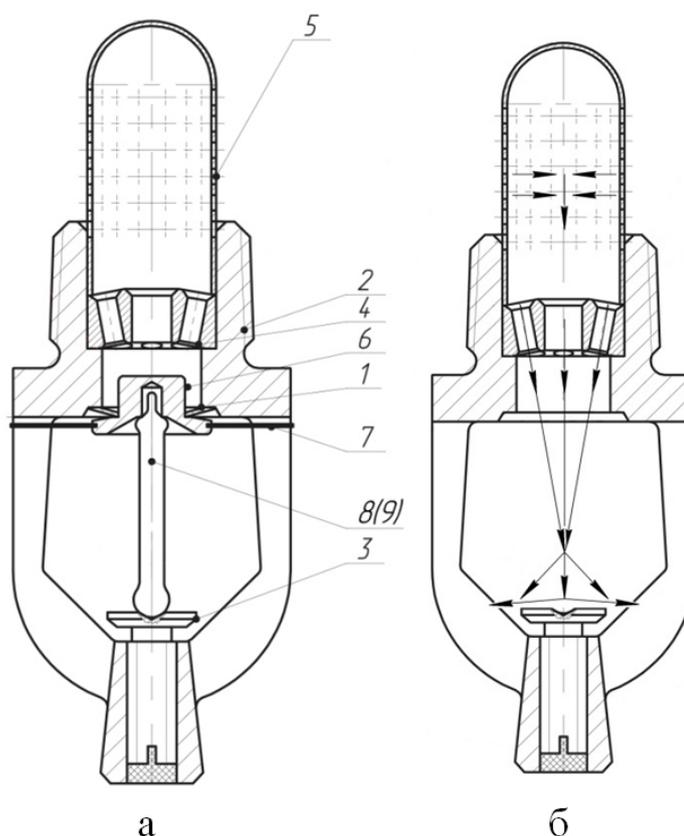


Рис. 1. Ороситель «Бриз»: а – схема оросителя в рабочем положении:

б – теоретическая модель распыления воды оросителем: 1 – пружина запорная; 2 – корпус; 3 – рассекатель; 4 – втулка; 5 – фильтр; 6 – крышка; 7 – пружина; 8 (9) – пробка, колба.

С целью уточнения процесса распыления в оросителе и дальнейшего совершенствования его конструкции для получения качественной тонкораспыленной воды возникла необходимость численного моделирования взаимодействия получаемых потоков и распыления воды.

Результаты

На первом этапе моделирования была создана упрощенная 3D модель оросителя и области распыления воды вокруг рассекателя, далее при помощи булевой операции вычли тело оросителя из тела распыления (рисунок 2). В дальнейшем полученная область была использована при моделировании процесса распыления [8-10].

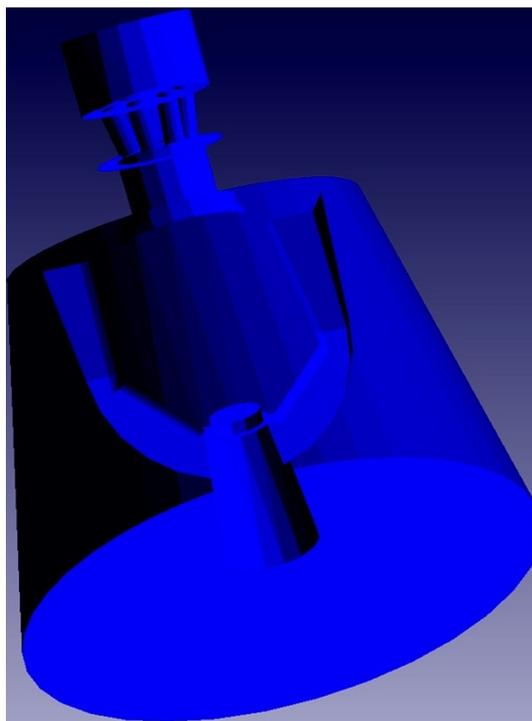


Рис.2. Окно выбора алгоритма расчета

На втором этапе 3D модель импортируется в программу FlowVision. Выбирается модель расчета «Несжимаемая жидкость», задается вещество «чистая вода» из базы программы, группируются поверхности по выполняемым ими функциям, создается начальная сетка и запускается расчет. В процессе расчета можно наблюдать изменения состояния модели (на рисунок 3а показано начало расчета, а на рисунки - 3б окончание).

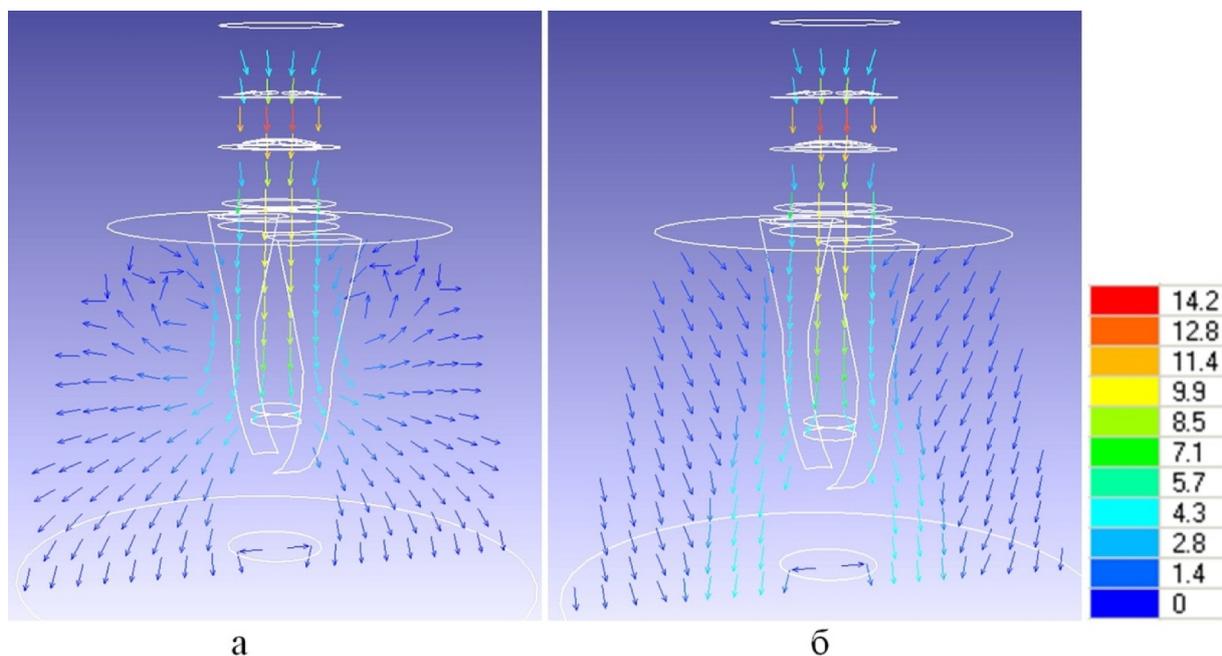


Рис. 3. Векторы скорости потока воды в оросителе в м/с; а - в начале расчета; б- в конце расчета

Для получения более точного описания процесса распыления была создана дополнительная численная модель течения воды в оросителе (рисунок 4).

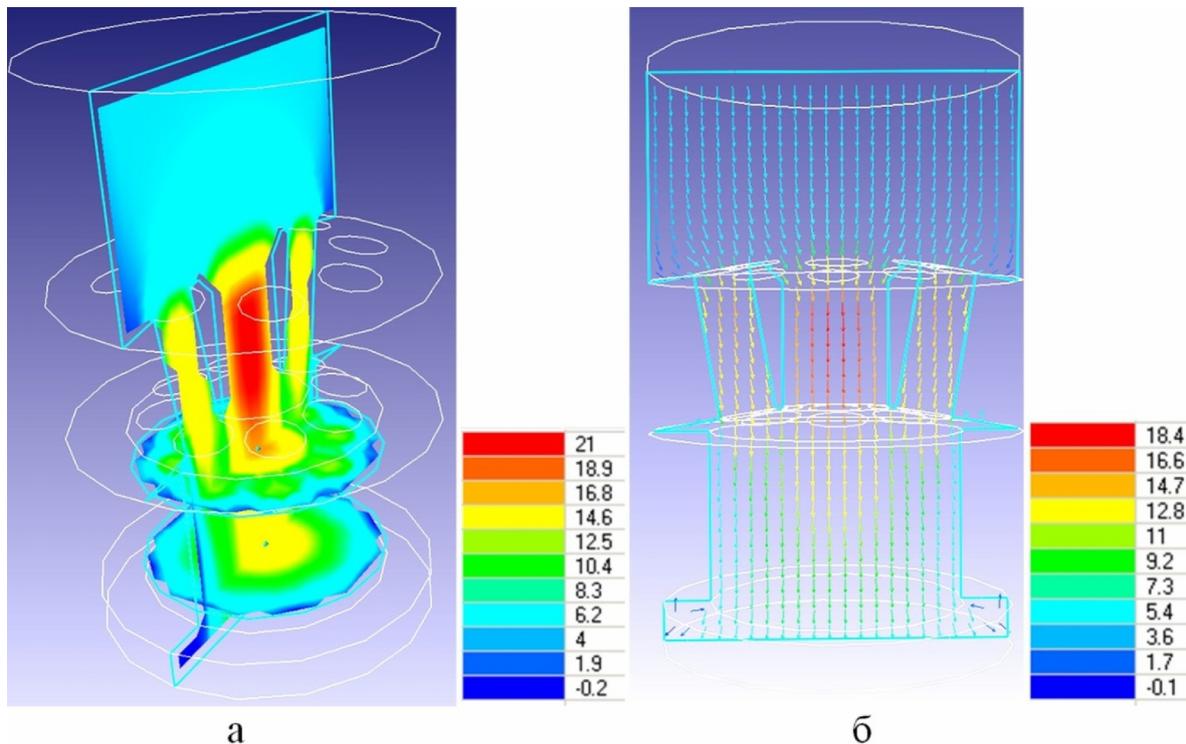


Рис. 4. Области (а) и векторы (б) скорости потока воды в оросителе в м/с

Выводы

Полученные результаты расчета процесса распыления воды оросителем не совпадают с теоретической моделью распыления, которая была использована при проектировании и изготовлении конструкции распылителя. Анализ численного моделирования распыления позволяет сделать вывод о необходимости изменения конструкции втулки оросителя. При этом необходимо уменьшить количество периферийных отверстий, увеличить расстояния между ними, изменить угол наклона отверстий так, чтобы точка пересечения струй воды из данных отверстий была равноудалена от выходного центрального отверстия и рассекателя. Это позволит улучшить пожаротушащие характеристики данного оросителя, упростит конструкцию, уменьшит число технологических операций при изготовлении и сократит стоимость готового изделия.

Список литературы

1. Ороситель спринклерный и дренчерный тонкораспыленной воды «Бриз». Паспорт ДАЭ 100.416.000 ПС.
2. СП 5.13130.2009. СПЗ. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

3. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения: учебно-методическое пособие / Л.М. Мешман, С.Г. Цариченко, В.А. Былинкин, В.В. Алешин, Р.Ю. Губин. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. – 314 с.
4. Автоматические водяные и пенные установки пожаротушения. Проектирование: учебно-методическое пособие / Л.М. Мешман, В.А. Былинкин, Р.Ю. Губин, Е.Ю. Романова; под общ. ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2009. – 572 с.
5. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. Версия 3.09.01. Примеры решения типовых задач. – М.: ТЕСИС, 2014. – 313 с.
6. *Акимов В.С., Бартенев Г.Ю.* Моделирование распада струй формируемых форсунками с использованием ПК FlowVision // Инженерные системы – 2015: труды международного форума, Москва, 6–7 апреля 2015 г. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 243 с.
7. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: учебное пособие / Т.В. Кондранин, Б.К. Ткаченко, М.В. Березникова, А.В. Евдокимов, А.П. Зуев. – М.: МФТИ, 2005. – 104 с.
8. *Самсонов В.В., Красильникова Г.А.* Автоматизация конструкторских работ в среде Компас 3D: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2009. – 224 с.
9. *Кудрявцев Е.М.* КОМПАС-3D. Проектирование в машиностроении. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 440 с. – (Серия «Проектирование»).
10. *Большаков В.П.* Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 496 с.

IMPROVING THE DESIGN OF THE SPRINKLER WATER MIST «BRIZ»

Ovcharenko A.G.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Vinogradskiy V.V.², Ph.D. (Engineering), main engineer, e-mail: info@sa-biysk.ru

Kurepin M.O.¹, Engineer, e-mail: btimish@mail.ru

¹ Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, 27 Trofimova str., Biysk, 659305, Russian Federation

² JSC "PA" Spetsavtomatika", 10 Lesnaya str., Biysk, Altai Region, 659316 Russian Federation

Abstract

A numerical simulation of the water spraying process in "Briz" type sprinklers with the help of the FlowVision program is considered. The models of the distribution of water velocity vectors inside and outside of one of the sprinkler designs are obtained. As a result of modeling, we obtained a model of velocity distribution along the plane passing through the axis of symmetry. The models made it possible to clarify the process of spraying water in operating sprinklers of finely dispersed water and to offer options for improving the design of sprinklers. This will result in a change in the design of the sprinkler to improve the quality of fire extinguishing and reduce the cost of the finished product.

Keywords

sprinkler, numerical model operation, water mist, dispersion, FlowVision

УДК 631.362.36

**РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРА ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КАМНЕОТДЕЛИТЕЛЬНОЙ
МАШИНЫ**

*Н.В. ПЕРОВА, ст. преподаватель
У.И. РАФИКОВ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Перова Н.В. – 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: perova@corp.nstu.ru

В статье приводится расчет для использования их в проектных расчетах камнеотделителей с аспирацией. Предложен анализ расчета вентилятора для продувания зерновой смеси на имеющейся рабочей поверхности – стола вибропневматической камнеотделительной машины из линии мукомольного производства. Определены физико-механические характеристики зерновой смеси, влияющие на степень продувания частиц в процессе. Выявлены зависимости между степенью продувания и размерами частиц. Выявлено влияние размеров и плотности частиц зерновой смеси на расход воздуха вентилятора, следовательно, на его мощность.

Ключевые слова: вентилятор, зерновая смесь, производительность, мощность, размеры частиц, расчет.

Введение

Пищевая промышленность - одна из перспективных и быстроразвивающихся отраслей промышленности. Запросы и потребности потребителей возрастают с каждым днем и это приводит к тому, что производителям нужно выпускать обширный ассортимент товаров и создавать новые продукты. Развитие производства и сокращение затрат за счет повышения производительной эффективности позволяют оставаться на рынке конкурентоспособным участником.

Внедрение новых, более производительных машин в линию является одной из основных задач пищевой промышленности. Совершенствование уже используемых машин, также является способ улучшения производительных мощностей технологических линий. Основным направлением развития зерноперерабатывающей отрасли является строительство новых предприятий или техническая модернизация действующих предприятий за счет внедрения высокопроизводительного оборудования. Для модернизации машин и их узлов нужен анализ расчетов конструктивных элементов. Расчеты камнеотделителя вибропневматического приведены в работе [1].

Вентилятор используется в машинах, принцип действия которых совмещает восходящий поток и колебания поверхности, на которой располагается сортируемая зерновая смесь. Рабочий орган машины движется в горизонтальной плоскости и совершает возвратно-поступательное движение. Такой способ движения рабочего органа для разделения зерна от примесей реализован, например, в малогабаритных камнеотделительных машинах А1-БКВ, А1-БКР [4].

В этой статье описывается расчет вентилятора вибропневматического камнеотделителя из технологической линии мукомольного предприятия с учетом физико-механических свойств сырья и характера движения рабочей поверхности.

Расчет физико-механических свойств сырья

Рассмотрим камнеотделитель вибропневматический, рабочим органом которого является вибростол. Схема движения рабочего органа на рисунке 1. Расчет конструктивных параметров камнеотделителя ведется по литературе [1].

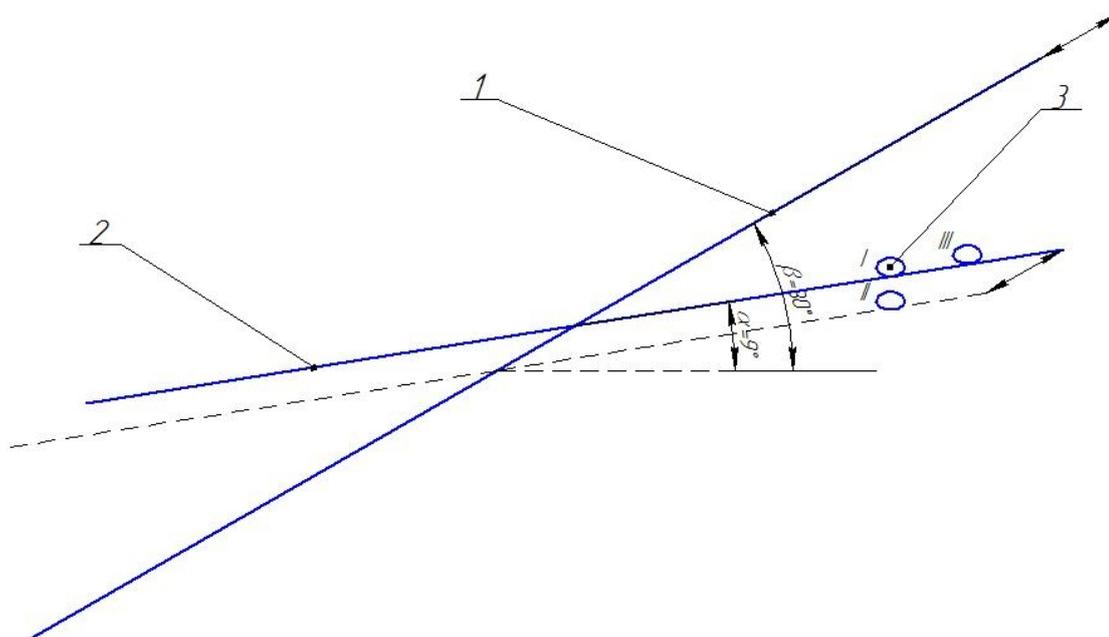


Рис. 1. Схема движения рабочего органа:
1-рама, 2-стол, 3-частица; I, II, III – первое, второе и третье положение частицы

В аэрируемом потоке зерновой смеси, расположенной на вибрирующей шероховатой поверхности, происходят достаточно сложные явления. Это происходит из-за взаимодействия движущихся частиц с потоком воздуха и с поверхностями, которые ограничивают данный поток [2]. Важным является определить физико-механические характеристики частиц зерновой смеси. Далее будет приведен расчет физико-механических характеристик зерна и камня, входящих в состав зерновой смеси. Для каждой частицы рассчитываются максимальные и минимальные значения.

Объем частицы (рисунок 2), как для зерна, так и для камня (рисунок 2) определяется по формуле (1):

$$V_{\text{ч}} = 4/3(\pi r_{\text{ч}}^2 \cdot l_{\text{ч}}), \quad (1)$$

где $r_{\text{ч}}$ - радиус частицы ($r_{\text{ч,макс}} = 2 \cdot 10^{-3}$; $r_{\text{ч,мин}} = 0,8 \cdot 10^{-3}$) [2];
 $l_{\text{ч}}$ - половина длины частицы ($l_{\text{ч,макс}} = 4$ мм; $l_{\text{ч,мин}} = 2,4$ мм) [2].

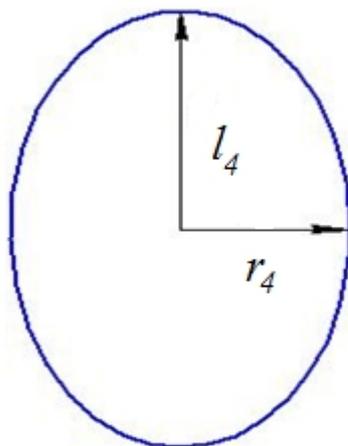


Рис.2. Частица

Миделево сечение обтекаемого тела характеризует наиболее среднюю площадь сечения частицы и определяется по формуле (2). [2]:

$$F = \pi \cdot r_{\text{ч}} \cdot l_{\text{ч}}, \quad (2)$$

Масса частицы (зерна или камня) определяется по формуле (3):

$$m_{\text{ч}} = V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ч}}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы.

Вес частицы определяется по формуле (4):

$$G_{\text{ч}} = m_{\text{ч}} \cdot g, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$.

Критерий Архимеда представляет собой критерий подобия, характеризующий соотношение между силой Архимеда, возникающей из-за различия плотностей в разных областях системы, и вязкими силами в основном потоке. Применяется при расчётах, связанных с движением тел во внешней среде (жидкость или газ), возникающим вследствие неоднородности плотности в системе «тело — внешняя среда» (в нашем случае «частицы – воздух») [3]. Критерий Архимеда для витающей частицы (зерно или камень) определяют по формуле (5):

$$Ar = (gd^3(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) \cdot \rho_{\text{в}}) / \mu^2, \quad (5)$$

где d – наибольший либо наименьший диаметр частицы;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха при 20° ;

μ – динамическая вязкость воздуха при 20° .

Критерий Рейнольдса для витающей частицы характеризует меру отношения сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкости и определяется по формуле (6):

$$Re_{\text{внт}} = Ar / (1400 + 5,22\sqrt{Ar}), \quad (6)$$

Критическая скорость, при которой начинается псевдооживление определяется по формуле:

$$v_{\text{кр.вит.}} = Re_{\text{вит}} \mu / \rho_{\text{в}} d \quad (7)$$

Критерий Рейнольдса для уноса частицы определяется по формуле (8):

$$Re_{\text{ун}} = Ar / (18 + 0,61\sqrt{Ar}) \quad (8)$$

Критическая скорость уноса частицы характеризует скорость, при которой частицы будут вырываться с поверхности зернового слоя под воздействием потока воздуха. Рассчитывается по формуле (9):

$$v_{\text{кр.ун.}} = Re_{\text{ун}} \mu / \rho_{\text{в}} d \quad (9)$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления частицы псевдооживлению рассчитывается для обеих частиц. Для зерна также рассчитывается коэффициент аэродинамического сопротивления частицы уносу. Расчет коэффициента происходит по формуле (10):

$$k = 2G_{\text{ч}} / F \rho_{\text{в}} v_{\text{кр.}}^2, \quad (10)$$

Расчет вентилятора

Для дальнейшего расчета необходимо соблюдать одно условие, чтобы коэффициент аэродинамического сопротивления воздуха был больше, либо равен коэффициенту уноса зерна, но меньше, либо равен коэффициенту псевдооживления камня.

$$k_{\text{уносу зерна}} \leq k \leq k_{\text{псевдооживлению камня}}$$

При имеющейся площади рабочей поверхности рассчитывается расход воздуха максимальный и минимальный. Расход воздуха определяем по формуле:

$$Q = Sv, \quad (11)$$

$$Q_{\text{мин}} = Sv_{\text{кр.у.з.мин}}$$

$$Q_{\text{макс}} = Sv_{\text{кр.п.к.макс}}$$

где S - площадь слоя зерновой смеси;

$v_{\text{кр.у.з.мин}}$ - критическая минимальная скорость уноса зерна;

$v_{\text{кр.п.к.макс}}$ - критическая максимальная скорость, при которой происходит псевдооживление смеси с камнем.

С момента перехода свободно лежащего неподвижного плотного слоя зернистого материала в псевдооживленное состояние гидравлическое сопротивление слоя, в аппаратах постоянного поперечного сечения и большого диаметра практически становится постоянным, не зависящим от расхода жидкости (газа) [2]. Минимальный необходимый напор характеризует это состояние и определяется по формуле (12):

$$\Delta P = (\rho_{\text{з}} - \rho_{\text{в}})(1 - \varepsilon)gH, \quad (12)$$

где ε - порозность;

H - толщина слоя продукта.

Необходимая минимальная мощность двигателя вентилятора рассчитывается по формуле (13):

$$N = \Delta P \cdot Q_{\text{макс}} \quad (13)$$

Определяющим фактором для выбора вентилятора является расход воздуха. В соответствии с расчетами вентилятор выбирается при соблюдении следующих условий:

- производительность вентилятора должна входить в рамки:

$$Q_{\text{мин}} \leq Q_{\text{вент}} \leq Q_{\text{макс}}$$

- мощность двигателя должна быть больше, либо равна необходимой минимальной мощности:

$$N_{\text{дв}} \geq N$$

Результаты

Представлены формулы, объединенные в вычислительный процесс. Таким образом, можно вычислить производительность и мощность для вентилятора камнеотделителя вибропневматического, исходя из объема зерновой смеси и физико-механических свойств сырья. Тем не менее, результаты, полученные в процессе вычислений, необходимо подтвердить экспериментально на действующем камнеотделителе.

Выводы

В работе приведены расчеты вентилятора камнеотделителя вибропневматического, позволяющие: проводить точные расчеты; определять возможности вентилятора при работе с сырьем с другими физико-механическими свойствами; увеличить производительность, если мощность электродвигателя устройства избыточна.

Список литературы

1. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности / ред.-сост. С.А. Мачихин; отв. ред. А.П. Бессонов. – М.: Машиностроение, 2003. – 736 с. – (Машиностроение; т. IV–17).
2. *Мамошин А.Е.* Классификация, псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. – Екатеринбург: АМБ, 2004. – 121 с.
3. *Никольский Б.П.* Справочник химика. Т. 5. Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты. Коррозия. – М.: Книга по требованию, 2013. – 888 с.
4. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн.: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
5. Мощность, потребляемая волчком, и ее распределение по механизмам волчка / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, Н.С. Древецкий, А.С. Косилов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 275–281.
6. *Rafikov U.I.* Projecting vibration pneumatic separator of mineral impurities / research adviser N.V. Perova, language adviser N.A. Sapchenko // Science in Progress : тезисы Всероссийской научно-практической конференции магистрантов и аспирантов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – С. 178–179.

CALCULATION OF A FAN OF VIBRO-PNEUMATIC STONE SEPARATING MACHINE

Perova N. V., Senior Lecturer, e-mail: perova@corp.nstu.ru

Rafikov U.I., Master's Degree student, e-mail: raul1994thebest@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The article provides a calculation for using them in design calculations of stone separators with aspiration. The analysis of the calculation of the fan for blowing the grain mixture on the existing working surface - the table of a vibration-rocking stone separating machine from the line of milling production - is proposed. The physico-mechanical characteristics of the grain mixture, which influence the degree of blowing of the particles, are determined. The dependences between the degree of blowing and the particle sizes are revealed. The influence of the grain size and density of the particles of the grain mixture on the air flow of the fan, and therefore on its power, is revealed.

Keywords

fan, grain mixture, productivity, power, particle size, calculation.

УДК 621.22

**ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ КАРДАНЫХ
ШАРНИРОВ**

*Е.В. КУКУШКИН, ассистент
Н.А. ШВАЛЕВА, студент
(СибГУ им. ак. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)*

Швалева Н.А. – 660037, г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
e-mail: natalyashvaleva@ya.ru

Рассмотрены малоизученные вопросы, касающиеся исследований малоцикловой усталости карданных шарниров. Проведен анализ опубликованных в последнее время экспериментальных результатов исследования поведения различных металлических материалов при двухосной малоцикловой усталости. Для оценки предельного состояния материалов в теории малоцикловой усталости применяются критерии четырех групп: деформационные, силовые, энергетические и критерии, основанные на учете поврежденности материала. Наиболее широкое распространение в расчетной практике получили деформационные и энергетические критерии. Разработаны на их основе подходы для создания эффективного модифицированного деформационного критерия. По результатам проведенного анализа, необходимо: провести испытаний карданных шарниров на разных стадиях эксплуатации (приработка, нормальная эксплуатация, выход из строя); оценить влияние погрешностей изготовления на рабочие характеристики карданных шарниров; обосновать причины образования поверхностных и глубинных трещин.

Ключевые слова: карданные шарниры, малоцикловая усталость, критерии

Введение

Вопрос о механизме физического аспекта усталости металла и усталостного разрушения тел качения под влиянием температуры и усталостного изнашивания изучен не полностью и требует более тщательного изучения, так же как и исследования взаимосвязи первичных усталостных разрушений с дислокацией циклически повторяющихся или чередующихся напряжений в материале деталей.

Кроме всего прочего необходимо рассмотреть вопрос о влиянии механических и термических способов поверхностного упрочнения деталей на их усталостную контактную прочность при сложном чередовании напряжений на протяжении всего цикла нагружения во время качения под нагрузкой.

Влияние радиальных, осевых, угловых колебаний тел качения игольчатых подшипников до настоящего времени, в достаточной степени не изучены, как и не в полной мере проработан вопрос о спектре возможных колебаний вала карданного шарнира.

Не в полном объеме затронута проблема тепловыделение и теплопроводности при обкатывании деталей под нагрузкой и нет системы прогнозирования температурных режимов работы узлов и способов снижения тепловыделения [1-8].

Теория

Для расчета несущей способности современных конструкций и деталей машин, подвергающиеся в процессе эксплуатации сложному комплексу циклически изменяющихся нагрузок, необходимо знать поля напряжений и деформаций в зонах максимальной напряженности, а также поведение материала при упругопластическом циклическом деформировании. [9]

На основании этого используются условия возникновения предельных состояний - нарушение прочности, появление недопустимых перемещений и т.д. Наиболее интенсивно разрабатываемым направлением при создании критериев малоциклового прочностного состояния при нагружении является концепция эквивалентных параметров. Согласно этой концепции, выбирая соответствующий эквивалентный параметр, сложное напряженное состояние приводит к эквивалентному линейному напряженному состоянию. [9]

Для оценки предельного состояния материалов в теории малоциклового усталостного разрушения применяются критерии четырех групп: деформационные, силовые, энергетические и критерии, основанные на учете поврежденности материала. Наиболее широкое распространение в расчетной практике получили деформационные и энергетические критерии. [10]

На практике широко используются эквивалентные параметры, являющиеся прямым применением критериев пластического течения. Ярким развитием данного подхода явились работы М. Брауна и К. Миллера, которые предложили при описании малоциклового усталостного разрушения использовать два параметра: максимальную сдвиговую деформацию и нормальную деформацию в плоскости максимального сдвига. В настоящее время существует значительное число модификаций данного подхода. Обобщающей работой в этом направлении, по-видимому, является работа А. Макинда и К. Нила в которой предложена методика построения функции разрушения и описание на ее базе кривых равной долговечности. Авторы показали, что все ранее предложенные в рамках эквивалентного подхода критерии являются частными случаями им функции разрушения. [9]

Деформационные критерии базируются на том, что при жестком режиме нагружения участок квазистатического разрушения на кривых малоциклового усталостного разрушения отсутствует, поэтому предельное состояние материала может оцениваться амплитудными (размаховыми) значениями полной деформации, ее упругой или пластической составляющими. Однако если для одноосного или пропорционального деформирования данные критерии достаточно эффективны и просты, то при многоосном малоцикловом нагружении они не всегда дают приемлемые результаты. В соответствии с энергетическими критериями, предельное состояние в материале наступает в том случае, когда суммарная энергия, связанная с его упрочнением, достигает критического значения. В связи с этим энергетический подход к оценке усталостного повреждения и разрушения металлов является более общим, поскольку использует в качестве меры повреждения материала удельную рассеянную энергию или удельную работу пластической деформации за цикл нагружения. Последнее обстоятельство немаловажно при рассмотрении двухосной или многоосной усталости, когда циклическим траекториям с одним и тем же размахом деформаций, но с разной формой цикла соответствуют различные уровни долговечности. Практическое использование энергетических критериев применительно к непропорциональному деформированию, обуславливает особые требования к выбору той или иной теории пластичности для более точного прогнозирования петель упругопластического гистерезиса, а также сопряжено с некоторыми трудностями при расчете удельной работы пластической деформации.

Попытки преодоления недостатков деформационного и энергетических подходов привели к разработке модифицированных деформационных критериев, позволяющих

учитывать как влияние амплитуды деформаций, так и дополнительное упрочнение, сильно выраженное при непропорциональном деформирования.

Результаты и обсуждение

Настоящая работа посвящена анализу опубликованных в последнее время экспериментальных результатов исследования поведения различных металлических материалов при двухосной малоцикловой усталости и разработке на их основе подходов для создания эффективного модифицированного деформационного критерия [9].

Проблема малоцикловой усталости элементов машин и конструкций, возникшая в связи с интенсификацией эксплуатации изделий в условиях высокой термомеханической нагруженности при квазистационарном характере повторных статических силовых и температурных воздействий, развивается применительно к задачам оценки прочности и долговечности на базе деформационной трактовки критериев разрушения [11].

Проблема малоцикловой усталости несущих элементов конструкций и деталей машин в широком диапазоне температур и скоростей нагружения применительно к малоцикловой усталости (без учета температурно-временного фактора) и длительной циклической прочности (с учетом температурно-временного фактора), включающих в себя два основных направления: исследование кинетики полей напряжений и деформаций в зонах максимальной напряженности, определяющих места ускоренного накопления повреждений и разрушения; изучение свойств материалов по числу циклов и по времени деформирования [12-18].

Выводы

По результатам проведенного анализа, необходимо:

1. Провести испытания карданных шарниров на разных стадиях эксплуатации (приработка, нормальная эксплуатация, выход из строя);
2. Оценить влияние погрешностей изготовления на рабочие характеристики карданных шарниров;
3. Обосновать причины образования поверхностных и глубинных трещин.

Поставленную задачу можно осуществить на оборудовании авторской разработке описанной в работе [19].

Список литературы

1. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Основные направления развития, улучшения и совершенствования рабочих характеристик карданных передач на игольчатых подшипниках // Решетневские чтения: материалы XVI Международной научной конференции / Сибирский государственный аэрокосмический университет. – Красноярск, 2012. – С. 254–256.

2. Меновщиков В.А. Ереско С.П. Исследование и совершенствование игольчатых подшипников карданных передач транспортно-технологических машин. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2006. – 283 с.

3. Пинегин С.В. Контактная прочность и сопротивление качению. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.

4. *Локишина Н.Г.* Развитие конструкций игольчатых подшипников и их применение. – М.: НИИНавтопром, 1967. – 57 с.
5. *Иванова В.С.* Современные представления о природе усталостного разрушения и новые направления исследований. Усталость металлов и сплавов. – М.: Наука, 1971.
6. *Иванова В.С., Терентьев В.Ф.* Природа усталости металлов. – М.: Metallurgy, 1975. – 455 с.
7. Space-rocket machines low-cycle fatigue problems review / A.Ya. Savyk, P.A. Ivanov, E.V. Kukushkin, V.O. Novoselova // Materials 15 International Scientific Conference «Youth. Society. Modern science, technologies & innovations». – Krasnoyarsk, 2016. – P. 32–34.
8. *Бородий М.В.* Анализ экспериментальных данных малоциклового усталости при непропорциональном деформировании // Проблемы прочности. – 2000. – № 1. – С. 13–21.
9. *Юй Хай Шень.* Малоцикловая усталость материалов при многоосном деформировании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1993. – 17 с.
10. *Гусенков А.П., Котов П.И.* Малоцикловая усталость при неизотермическом нагружении. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 232–238.
11. *Махутов Н.А., Гаденин М.М., Гохфельд Д.А.* Уравнения состояния при малоцикловом нагружении. – М.: Наука, 1981. – 244 с.
12. *Кукушкин Е.В., Меновицков В.А.* Малоцикловая усталость игольчатого подшипника // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы IX Всероссийской научно- практической конференции / Сибирский государственный аэрокосмический университет. – Красноярск, 2013. – С. 154–155.
13. *Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновицков В.А.* Современное состояние вопроса по исследованию пластического деформирования при статическом контактом нагружении игольчатых подшипников // Механика XXI века. – 2014. – № 13. – С. 37–40.
14. *Кукушкин Е.В., Меновицков В.А., Ереско Т.Т.* Вопросы формирования усталостных трещин в материалах игольчатых подшипников карданных шарниров // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – Т. 1, № 10. – С. 148–150.
15. *Кукушкин Е.В., Меновицков В.А., Ереско Т.Т.* Анализ современных представлений и подходов при исследовании усталостных разрушений игольчатых подшипников // Решетневские чтения: материалы XVII Международной научной конференции / Сибирский государственный аэрокосмический университет. – Красноярск, 2013. – С. 287–288.
16. *Menovschikov V.A., Eresko S.P.* Structure influence and materials properties of mated surfaces on their density change and compactibility degree // Engineering & Automation Problems. – 2006. – Vol. 5, N 1. – P. 124–128.
17. *Erdogan F., Sih G.C.* On the crack extension in plates under plane loading and transverseshear // Journal of Basic Engineering. – 1963. – N 85. – P. 519–527.
18. *Williams J.G., Ewing P.D.* Fracture under complex stress – the angled crack problems // International Journal of Fracture Mechanics. – 1972. – Vol. 8, N 4. – P. 441–446.
19. Совершенствование методики расчета коэффициента полезного действия карданной передачи с целью оптимизации ее конструктивных и эксплуатационных параметров / А.С. Ереско, С.П. Ереско, Т.Т. Ереско, Е.В. Иваненко, Е.В. Кукушкин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 3. – С. 25–45. – doi: 10.15593/24111678/2017.03.02.

QUESTIONS OF INVESTIGATIONS OF THE LOW-CYCLE FATIGUE OF UNIVERSAL JOINTS

Kukushkin E.V., Assistant, e-mail: ironjeck@gmail.com
Shvaleva N.A., Student, e-mail: natalyashvaleva@ya.ru

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31 Krasnoyarsky Rabochy Av.,
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Abstract

Low-studied questions concerning research of low-cycle fatigue of universal joints are considered. An analysis is made of the recently published experimental results on the behavior of various metallic materials under biaxial low-cycle fatigue. To assess the limiting state of materials in the theory of low-cycle fatigue, the criteria of four groups are used: deformation, force, energy and criteria based on the account of material damage. Deformational and energy criteria have become most widespread in the calculation practice. Developed on their basis, approaches to create an effective modified deformation criterion. According to the results of the analysis, it is necessary: to test cardan joints at different stages of operation (running-in, normal operation, failure); to assess the influence of manufacturing errors on the performance of cardan joints; substantiate the causes of the formation of surface and deep cracks.

Keywords

universal joints, low cycle fatigue, criteria

УДК 620.18

**MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES
OF AS-CAST Ti-Nb ALLOYS****Thoemmes A., Ph.D. student
(NSTU, Novosibirsk)*

Thoemmes A. – 630073, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa
Novosibirsk State Technical University, Russian Federation
e-mail: thoemmes.alexander@gmail.com

The effect of Nb content on microstructure, mechanical properties and phase formation in suction cast binary Ti-Nb alloys was investigated using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and Synchrotron X-ray diffraction (SXR) analysis. The content of Nb varied in the range 30-35 mass % leading to significant changes in the microstructure. The as-cast binary Ti-Nb samples exhibit $\beta + \alpha'' + \omega$ phases at a composition of 30 mass % Nb and $\beta + \omega$ at 35 mass % Nb. The fraction of metastable ω decreases with increasing the Nb content. As a result, the microhardness decreases from $301 \pm 7 \text{ HV}_{0.05}$ to $222 \pm 5 \text{ HV}_{0.05}$.

Keywords: Titanium alloys, Biomaterials, Metastable phases

Introduction

The growing progress in the medical field led to an increasing demand of a new generation of metallic biomaterials [1]. Currently in use are stainless steels, Cr-Co alloys and Ti alloys. These materials are in service since decades. Their release of toxic metal ions can cause health problems like allergies, Alzheimer's or Parkinson's diseases [2–5]. The big difference in Young's modulus between a metallic implant and a human bone causes an effect called stress shielding, which leads to subsequent loosening of the implants [6]. The ideal metallic biomaterial for implant applications should exhibit excellent biocompatibility, superior corrosion resistance, high strength and a low Young's modulus [7; 8]. A large number of studies have been carried out to develop such a material [9–16]. Previous studies reported that Ti-Nb alloys show considerably better mechanical properties and a lower Young's modulus than the nowadays mostly used Ti-alloy for biomedical application. Previous study [17] has showed that the microstructure and mechanical properties of Ti-Nb alloys are very sensitive to the Nb content. In annealed alloys with less than 24 mass % Nb an acicular martensitic structure was visible, whereas if the Nb content increases equiaxed β grains are visible. Depending on the Nb content and cooling rate after heat treatment a formation of metastable ω phase is possible. The aim of this work is to investigate the influence of Nb content on microstructure, phase formation and mechanical properties of cold crucible cast alloys.

*** Acknowledgements**

The work was financially supported by the Russian Federation via the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Agreement No. 14.610.21.0013, project identifier RFMEFI61017X0013). Materials characterization was carried out at NSTU Materials Research Center.

Materials and methods

Cylindrical rods of nominal compositions Ti-xNb, x= 25, 27.5, 30, 32.5 35 mass % Nb (hereafter mass % will be referred to as %) were synthesized by casting methods in two steps. First, button shaped ingots were obtained by arc melting the initial materials, weighted according to the nominal composition. Prior to melting the furnace was evacuated and flushed with argon three times. A water-cooled copper crucible and a non-consumable tungsten electrode were used for melting. A titanium ingot was used as oxygen getter and was melted prior to every melting procedure. Considering the big difference in density (Ti: 4.5 g/cm³; Nb: 8.57 g/cm³) and melting point (Ti: 1941 K; Nb: 2750 K) of the initial elements the alloys were remelted 16 times and flipped after every second melt. The master alloy obtained in this way was than remelted and casted into a water-cooled copper crucible with a diameter of 5 mm. The weight loss was evaluated by weighing the initial materials and the samples after casting. After the casting the rods were cut into pieces and embedded into phenolic resin. The samples were mechanically ground using SiC paper up to grade 1500, followed by polishing with Al₂O₃ suspension. Final polishing was conducted using colloidal SiO₂. The microstructure of the samples was revealed by etching with a Kroll's reagent (5 vol. % HF, 10 vol. % HNO₃ and 85 vol. % H₂O). The microstructures were examined using an optical microscope (Carl Zeiss AxioObersver Z1m). Scanning electron microscopy (SEM) was conducted using a Carl Zeiss EVO 50 in back scattered electron (BSE) mode. The elemental composition was checked by Oxford Instruments X-Act energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) coupled with SEM. The hardness measurements, an average of 30 readings, were carried out using a WOLPERT Group 402 MVD Vickers hardness tester under a load of 50 g and a dwell time of 10 s. Synchrotron X-ray diffraction (SXR) study was conducted at the P07 beamline of the "Deutsches Elektronen Synchrotron" in Hamburg, Germany. Diffraction patterns were recorded by a 2-dimensional (2D) image plate detector with 2048 x 2048 pixels centred on the beam. An X-ray wavelength of $\lambda=0.124$ Å and a beam cross section of 0.5 x 0.5 mm² was used.

Results and discussion

The experimental results are summarized in Table 1. The weight loss of the samples after the casting was found to be 0.16 and 0.23 %, which indicates that the compositions of the as-cast samples were close to the nominal compositions.

Table 1

Chemical composition, weight loss and microhardness of researched alloys

Alloys code	Nb, wt %	Ti, wt %	Weight loss, %	Microhardness, HV _{0.05}
Ti-30Nb	30 ± 0.4	Balance	0.16	301 ± 7
Ti-35Nb	35 ± 0.6	balance	0.23	222 ± 5

Fig.1 a-d show the microstructures of as-cast samples. A typical bimodal microstructure, a dendritic phase dispersed in a matrix, has been obtained in both alloys. Different dendritic morphologies and different size of the dendritic phase among the alloys are attributed to the different composition and the different cooling rate. The microstructure changes with increasing the distance from the regions which are in contact with the copper mold. The outer edges exhibit a very fine dendritic structure, like shown in Fig. 1b. Afonso et.al proposed that this refinement results in the formation of metastable phases [18]. If the radial distance from the border is increased the arm spacing of the dendrites becomes bigger and the dendrites are orientated into the direction of heat flow. In the center of the sample, where the smallest cooling rate is achieved, the dendrites show the biggest arm spacing. It is supposed that the dendritic phase is a bcc β -Ti solid solution which is

enriched by Nb. Due to the adding of Nb the liquidus temperature is significantly increased. As a result, the Nb-rich β -Ti solid solution primarily precipitates at relative high temperature during solidification to form a dendritic phase. Such a β -Ti solid solution with bcc structure is expected to have very good ductility and low elastic modulus but also low strength.

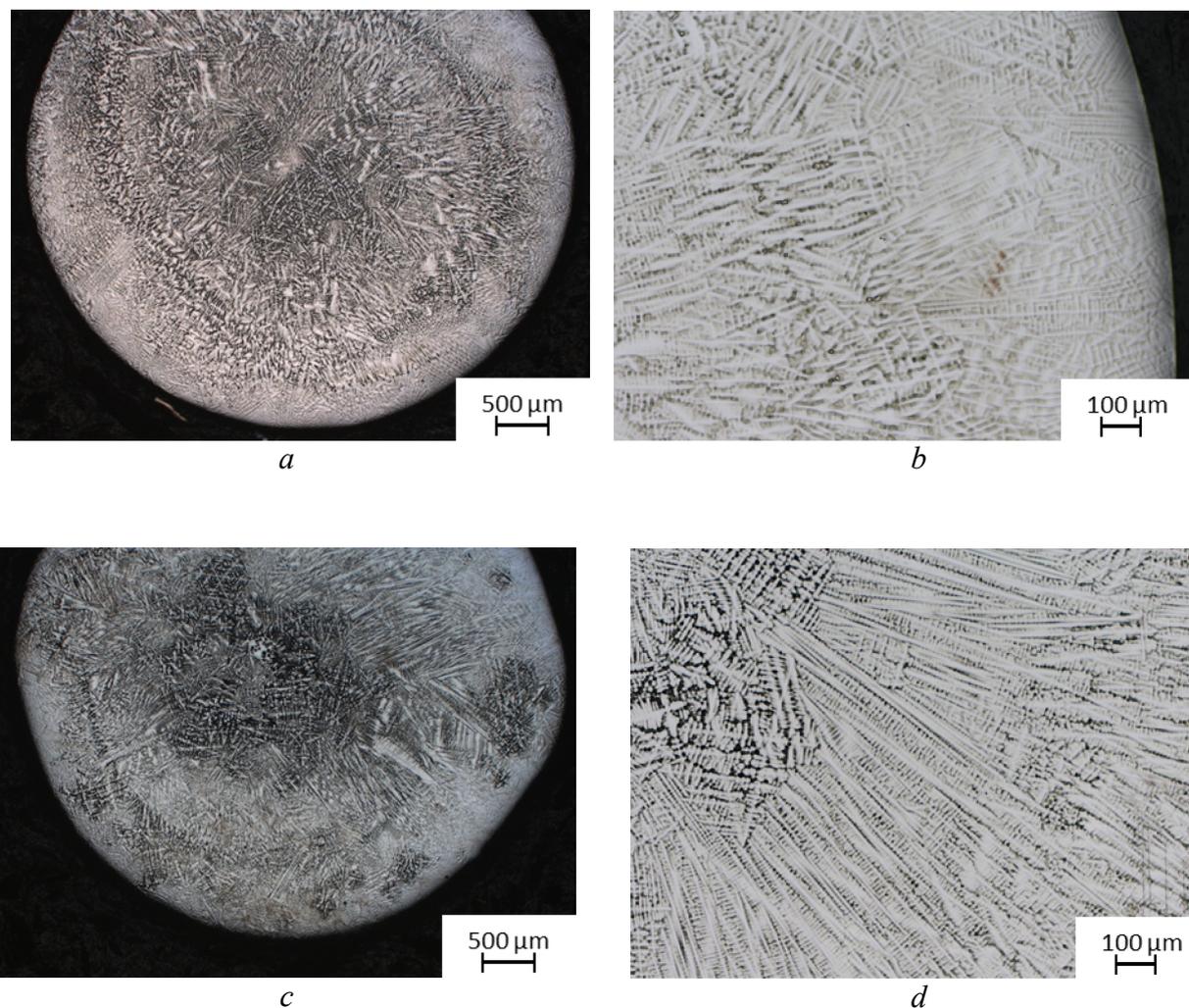


Fig. 1. OM Micrographs of a-b)Ti-30Nb and c-d) Ti-35Nb

The results of the SX-Ray diffraction analysis of as-cast samples are plotted in Fig. 2. For the as-cast Ti-30Nb alloy bcc β phase was the dominating phase. A small amount of orthorhombic α'' phase also was detected. Due to the high intensity of the synchrotron radiation detection of the hexagonal ω phase is possible. When the alloying content is increased up to 35 % only β and ω phase were detected.

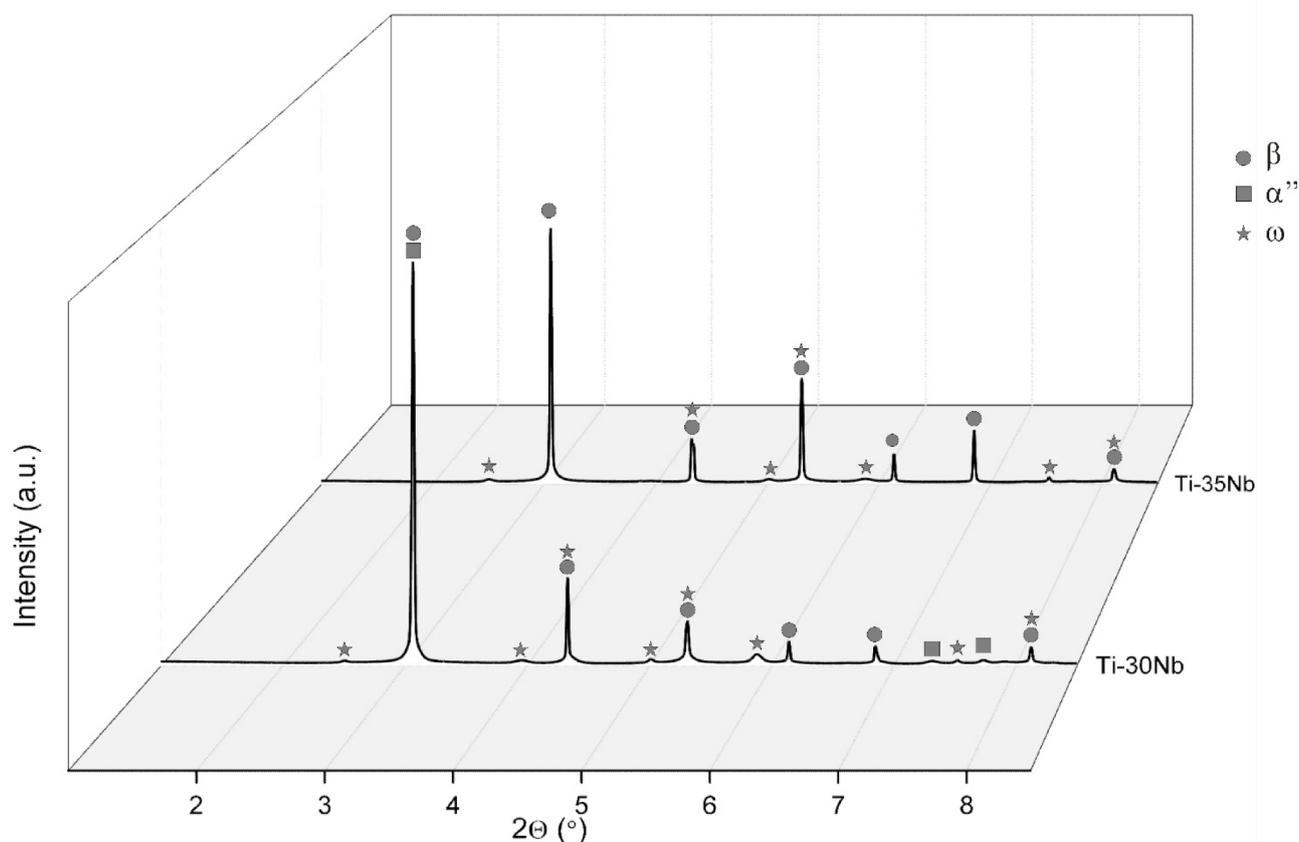


Fig. 2. SXR D patterns of as cast Ti-Nb alloys.

The results of microhardness analysis are presented in table 1. The Ti-30Nb alloy shows a higher microhardness compared to the Ti-35Nb alloy due to the higher volume fraction of ω phase. When the percentage of Nb increases the microhardness decreases. The higher additions of Nb inhibit the formation of ω phase, which is responsible for increasing the hardness and brittleness by precipitation hardening.

Conclusion

Experimental results indicate that both the microstructure and the mechanical properties strongly depend on the Nb content. Upon rapid solidification in copper mold, metastable β -Ti structures with some fraction of ω phases, resulting in higher fractions of metastable ω phase for lower Nb additions were obtained. This indicates that the cooling rate upon casting is high enough to obtain metastable phases.

References

1. *Ninomi M.* Recent metallic materials for biomedical applications // *Metallurgical and Materials Transactions A.* – 2002. – Vol. 33, iss. 3 – P. 477–486. – doi: 10.1007/s11661-002-0109-2.

2. *Niinomi M.* Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications // *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials.* – 2008. – Vol. 1, iss. 1 – P. 30–42. – doi: 10.1016/j.jmbbm.2007.07.001.
3. *Abdel-Hady Gepreel M., Niinomi M.* Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation // *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials.* – 2013. – Vol. 20. – P. 407–415. – doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.11.014.
4. Effects of alloying elements on the cytotoxic response of titanium alloys / *A. Cremasco, A.D. Messias, A.R. Esposito, E.A. de Rezende Duek, R. Caram* // *Materials Science and Engineering: C.* – 2011. – Vol. 31, iss. 5 – P. 833–839. – doi: 10.1016/j.msec.2010.12.013.
5. *Okazaki Y., Gotoh E.* Comparison of metal release from various metallic biomaterials in vitro // *Biomaterials.* – 2005. – Vol. 26, iss. 1. – P. 11–21. – doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.02.005.
6. *Niinomi M., Nakai M.* Titanium-based biomaterials for preventing stress shielding between implant devices and bone // *International Journal of Biomaterials.* – 2011. – Vol. 2011. – P. 836587. – doi: 10.1155/2011/836587.
7. *He G., Hagiwara M.* Ti alloy design strategy for biomedical applications // *Materials Science and Engineering: C.* – 2006. – Vol. 26, iss. 1. – P. 14–19. – doi: 10.1016/j.msec.2005.03.007.
8. *Sumita M.* Present status and future trend of metallic materials used in orthopedics // *Seikei-Geka.* – 1997. – Vol. 48. – P. 927–934.
9. Evaluation of mechanical and corrosion biocompatibility of TiTa alloys / *E.A. Trillo, C. Ortiz, P. Dickerson, R. Villa, S.W. Stafford, L.E. Murr* // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine.* – 2001. – Vol. 12, iss. 4. – P. 283–292. – doi: 10.1023/A:1011210101895.
10. *Zhou Y.L., Niinomi M., Akahori T.* Mechanical properties of binary Ti-Ta alloys for biomedical applications // *Materials Science Forum.* – 2004. – Vol. 449–452. – P. 1089–1092. – doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.449-452.1089.
11. Elastic modulus and in vitro biocompatibility of Ti-xNb and Ti-xTa alloys / *S.E. Kim, H.W. Jeong, Y.T. Hyun, Y.T. Lee, C.H. Jung, S.K. Kim, J.S. Song, J.H. Lee* // *Metals and Materials International.* – 2007. – Vol. 13, iss. 2. – P. 145–149. – doi: 10.1007/BF03027565.
12. *Hon Y.-H., Wang J.-Y., Pan Y.-N.* Composition/phase structure and properties of Titanium-Niobium alloys // *Materials Transactions.* – 2003. – Vol. 44, iss. 11. – P. 2384–2390. – doi: 10.2320/matertrans.44.2384.
13. Effect of Nb on the microstructure, mechanical properties, corrosion behavior, and cytotoxicity of Ti-Nb alloys / *M.-K. Han, J.-Y. Kim, M.-J. Hwang, H.-J. Song, Y.-J. Park* // *Materials.* – 2015. – Vol. 8, iss. 9. – P. 5986–6003. – doi: 10.3390/ma8095287.
14. *Ikeda M., Komatsu S.-y., Nakamura Y.* The effect of Ta content on phase constitution and aging behavior of Ti-Ta binary alloys // *Materials Transactions.* – 2002. – Vol. 43, iss. 12. – P. 2984–2990. – doi: 10.2320/matertrans.43.2984.
15. Influence of rolling and heat treatment on the structure and properties of the coatings fabricated on the titanium substrates by electron beam cladding / *V.V. Samoylenko, D.V. Lazurenko, I.A. Polyakov, A.A. Ruktuev, O.G. Lenivtseva, V.S. Lozhkin* // *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science.* – 2015. – Vol. 67, iss. 2. – P. 55–63. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-2-55-63.
16. Investigation of the structure of Ti-40Nb powder alloy obtained by mechanical activation / *Z.G. Kovalevskaya, Y.P. Sharkeev, M.A. Korchagin, M.A. Khimich, E.A. Ibragimov, A.A. Saprykin, V.A. Bataev* // *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science.* – 2016. – N 4 (73). – P. 34–42. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-34-42.
17. Microstructure and mechanical properties of binary Ti-Nb alloys for application in medicine: 2016 / *A. Thoemmes, I.A. Bataev, N.S. Belousova, D.V. Lazurenko* // *11th International*

Forum on Strategic Technology (IFOST), June 1–3, 2016, Novosibirsk, Russia. – Novosibirsk, 2016. – P. 26–29. – doi: 10.1109/IFOST.2016.7884101.

18. Influence of cooling rate on microstructure of Ti–Nb alloy for orthopedic implants / C.R.M. Afonso, G.T. Aleixo, A.J. Ramirez, R. Caram // Materials Science and Engineering: C. – 2007. – Vol. 27, iss. 4. – P. 908–913. – doi: 10.1016/j.msec.2006.11.001.

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ СПЛАВОВ Ti-Nb

Тёммес А., аспирант, e-mail: thoemmes.alexander@gmail.com

Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20,
г.Новосибирск, 630073, Российская Федерация

Аннотация

В работе представлены результаты исследования микроструктуры, механических свойств и описано формирование фаз в сплавах Ti-Nb, полученных по технологии литья. Сплавы исследовались методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) и рентгеновской дифракции с применением синхротронного излучения. Изменение содержания ниобия от 30 до 35 мас. % привело к существенным изменениям фазового состояния и свойств образцов. Сплав, содержащий 30 % ниобия, состоял из β , α'' и ω фаз. В сплаве, содержащем 35 % ниобия, были обнаружены только β , и ω фазы. При увеличении содержания ниобия содержание ω фазы уменьшалось, что приводило к уменьшению твердости от 301 ± 7 HV0.05 до 222 ± 5 HV0.05.

Ключевые слова

Биоматериалы, титановые сплавы, микроструктура

УДК 539.536, 669.2

**ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
НА ТОЛЩИНУ ЗАКАЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ ВНЕВАКУУМНОЙ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ4****И.В. ИВАНОВ, аспирант
Е.А. РУДЕНЯ, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Иванов И.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: i.ivanov@corp.nstu.ru

В работе были проведены эксперименты по закалке титанового сплава ОТ4 электронным пучком вне вакуума. Было выяснено, что при удельной энергии пучка $2,8 \text{ кДж/см}^2$ проходят процессы первичной кристаллизации, а при $3,5 \text{ кДж/см}^2$ образуется закаленная структура. Эта структура обладает высокой твердостью (до 450 HV), по сравнению с материалом основы (около 200 HV). Методом оптической металлографии исследована микроструктура полученных материалов. Также методом рентгенофазового анализа был определен фазовый состав.

Ключевые слова: электронно-лучевая обработка, закалка, титановые сплавы, микротвердость

Введение

Термическая обработка металлов пучком электронов (например, закалка), наряду с обработкой лазером или токами высокой частоты (ТВЧ), является одним из способов упрочнения металлов и сплавов [1]. Основным отличием электронно-лучевой обработки от обработки лазером является более высокий КПД при обработке поверхности (~95% и 5-10%, соответственно) [2]. Это обусловлено тем, что электроны, в отличие от фотонов, практически не отражаются от поверхности металла. Помимо этого, современные электромагнитные отклоняющие системы пучка электронов работают быстрее, чем механические системы отклонения лазерного луча, а варьруемый электромагнитный фокус предоставляет большое количество возможностей при обработке или создании 3D поверхностей [3-5].

В связи с быстро развивающимся применением электронно-лучевых технологий в аддитивном производстве большой интерес вызывает изменение структуры материалов, обусловленное воздействием электронных пучков [6-9]. Для ряда материалов (в особенности для сталей), проведено достаточно большое количество исследований, объясняющих особенности формирования структуры поверхностного слоя при электронно-лучевом воздействии. Однако, такого рода исследования редко посвящают исследованию структуры титановых сплавов. По этой причине целью настоящей работы являлось исследование влияния энергии электронного пучка на толщину закаленного слоя титанового сплава.

* Работы выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение №14.610.21.0013, идентификатор проекта RFMEFI61017X0013).

Материалы и методы

В качестве материала для проведения исследований использовался титан марки ОТ4. Электронно-лучевая обработка проводилась на установке ЭЛВ-6, которая представляет собой ускоритель электронов прямого действия, оборудованный системой для выпуска концентрированного пучка электронов с энергией 1,4 МэВ в воздушную атмосферу.

Режимы вневакуумной электронно-лучевой закалки заготовок выбраны исходя из [10] и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы вневакуумной электронно-лучевой закалки

Ток пучка, мА	5	10	12,5	14	15	16
Скорость перемещения заготовки, мм/с	10	10	10	10	10	10
Ускоряющее напряжение, МэВ	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Размах развертки, мм	50	50	50	50	50	50
Частота сканирования, Гц	50	50	50	50	50	50
Мощность пучка, кВт	7	14	17,5	19,6	21	22,4
Удельная поверхностная энергия, кДж/см ²	1,4	2,8	3,5	3,92	4,2	4,48

Образцы для структурных и дюротрических исследований готовились по методике, включающей шлифование и полирование поверхности. Конечная полировка выполнялась с применением суспензии, состоящей из 73 об. % коллоидного SiO₂, 18 об. % H₂O₂ (40% раствор) и 9 об. % раствора Кролла (Kroll's Reagent). Раствор Кролла готовился с применением 92 об. % H₂O, 6 об. % HNO₃, 2 об. % HF и применялся также в качестве травителя. Травление подготовленных микрошлифов осуществлялось в течение 5-7 с.

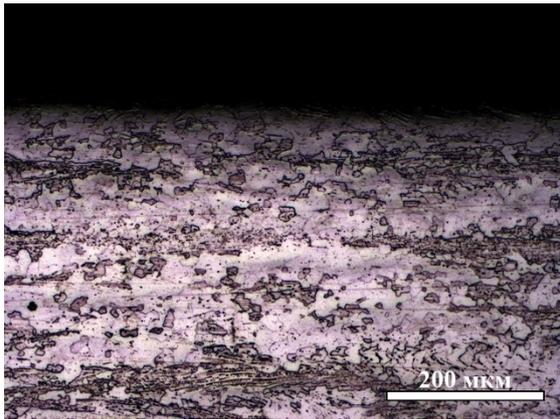
Металлографический анализ структуры проводился на оптическом металлографическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m в светлоспольном режиме (Bright Field) режиме в диапазоне увеличений от 25 до 1500 крат.

Рентгеноструктурные исследования были выполнены на дифрактометре ARL X'TRA в Cu K_α и K_β излучении в диапазоне углов от 30 до 90°. Идентификация фаз, а также анализ интенсивностей отдельно взятых рефлексов выполнялись на основе базы данных ICDD PDF-4+. EBSD-анализ проводился на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP с использованием приставки HKL CHANNEL 5.

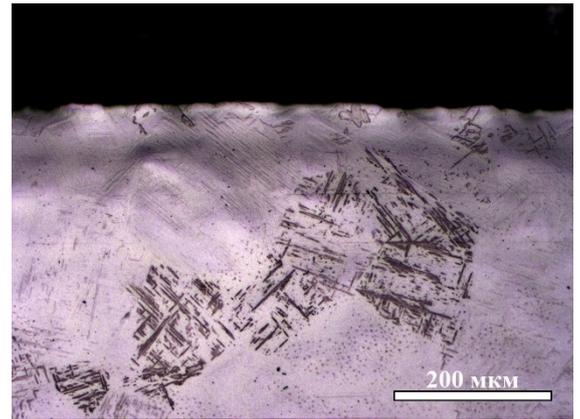
Микротвердость материалов, оценивалась в соответствии с ГОСТ 9450-76 [11] на полуавтоматическом микротвердомере Wolpert Group 402MVD. В качестве индентора использовалась четырехгранная алмазная пирамида с квадратным основанием. Нагрузка на индентор составляла 0,98 Н, время нагружения – 10 с.

Результаты и обсуждение

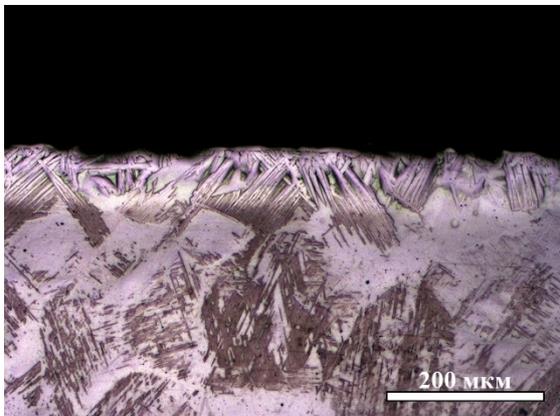
На рисунке 1 приведены результаты металлографического анализа в светлоспольном режиме поперечных сечений сплава ОТ4 после вневакуумной электронно-лучевой обработки.



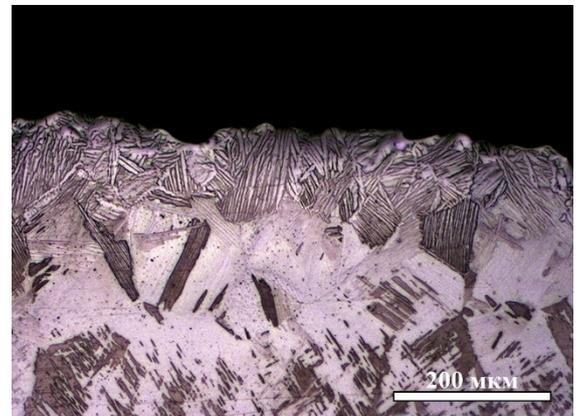
а



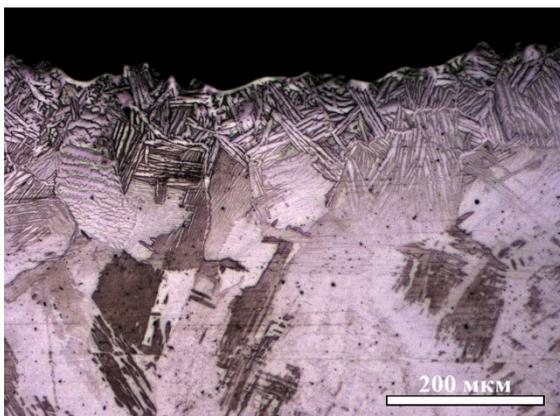
б



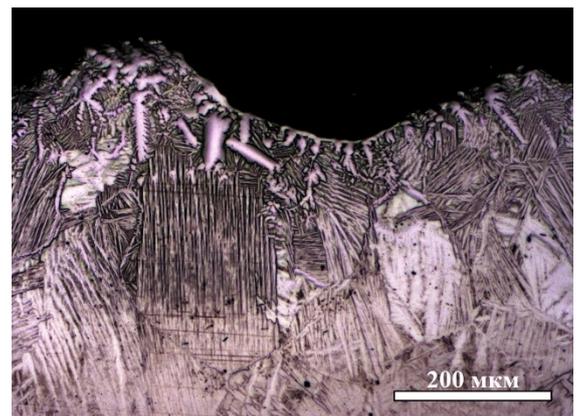
в



г



д



е

Рис. 1. Металлографический анализ в светлопольном режиме титана ОТ4 после электронно-лучевой обработки при удельной поверхностной энергии пучка: а – 1,4 кДж/см²; б – 2,8 кДж/см²; в – 3,5 кДж/см²; г – 3,92 кДж/см²; д – 4,2 кДж/см²; е – 4,48 кДж/см².

Из представленных изображений следует, что при удельной энергии 1,4 и 2,8 кДж/см² плавления материала не происходит, однако увеличение размеров зерен после обработки при

2,8 кДж/см² указывает на прошедшие процессы рекристаллизации. В случае обработки с удельной энергией 1,4 кДж/см² материал однороден по всему сечению образца. Это свидетельствует о том, что температуры, достигаемые при данном режиме термической обработки, были меньше температуры рекристаллизации титанового сплава.

Плавление материала начинается со значения энергии 3,5 кДж/см², а толщина проплавленного слоя повышается с ее увеличением.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа (рис. 2) в поверхностном слое образуется фаза α -титана. Известно, что при высоких скоростях охлаждения полиморфное превращения титана из β в α фазу происходит по мартенситному, а не по диффузионному механизму [12-14]. В результате этого превращения образуется мартенситная α' фаза, которая так же, как и α фаза обладает гексагональной симметрией. Однако различить эти фазы методами, основанными на рентгеновской дифракции, чрезвычайно сложно [15]. Наличие мартенситной α' фазы косвенно подтверждается результатами металлографических и дюрOMETрических исследований.

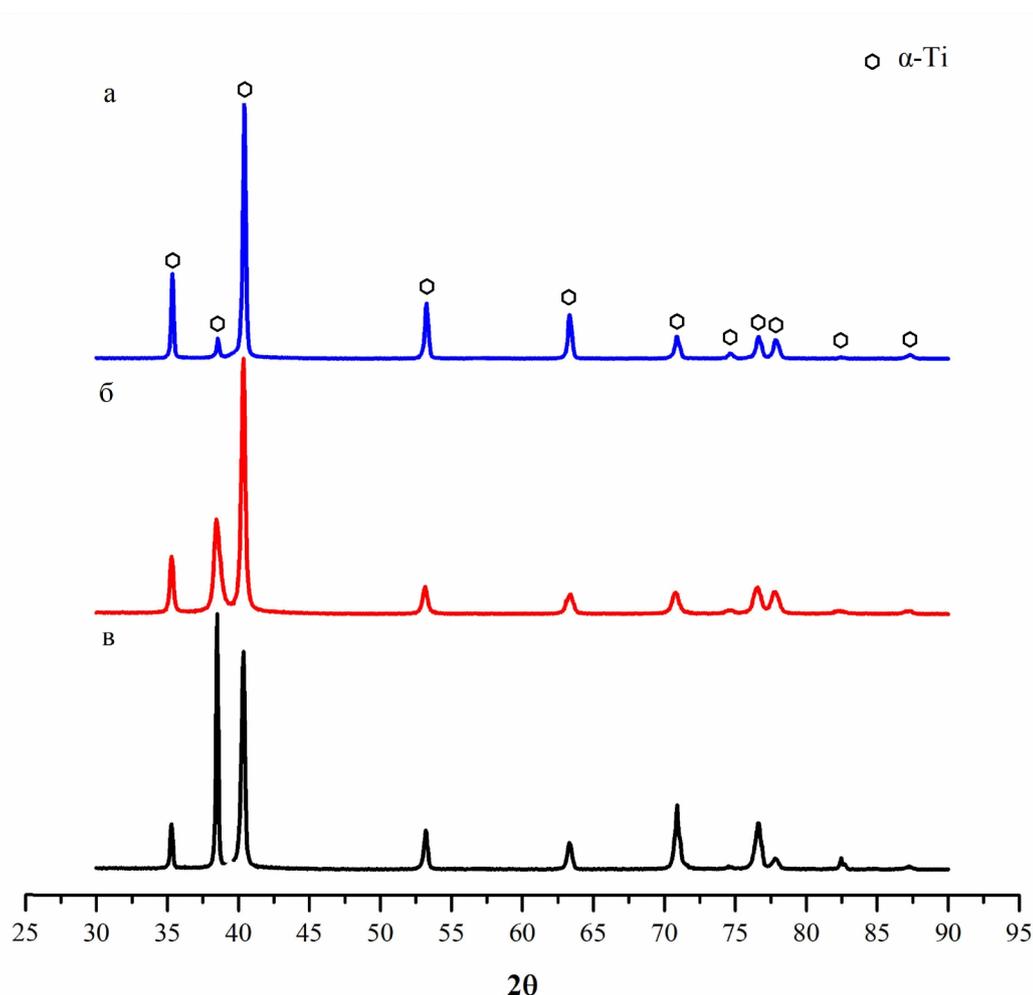


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ титана ОТ4 после электронно-лучевой обработки с удельной поверхностной энергией: а – 1,4 кДж/см²; б- 2,8 кДж/см²; б – 3.5 кДж/см².

На рисунке 3 показаны диаграммы изменения микротвердости по глубине материала в зависимости от удельной энергии применяемого излучения.

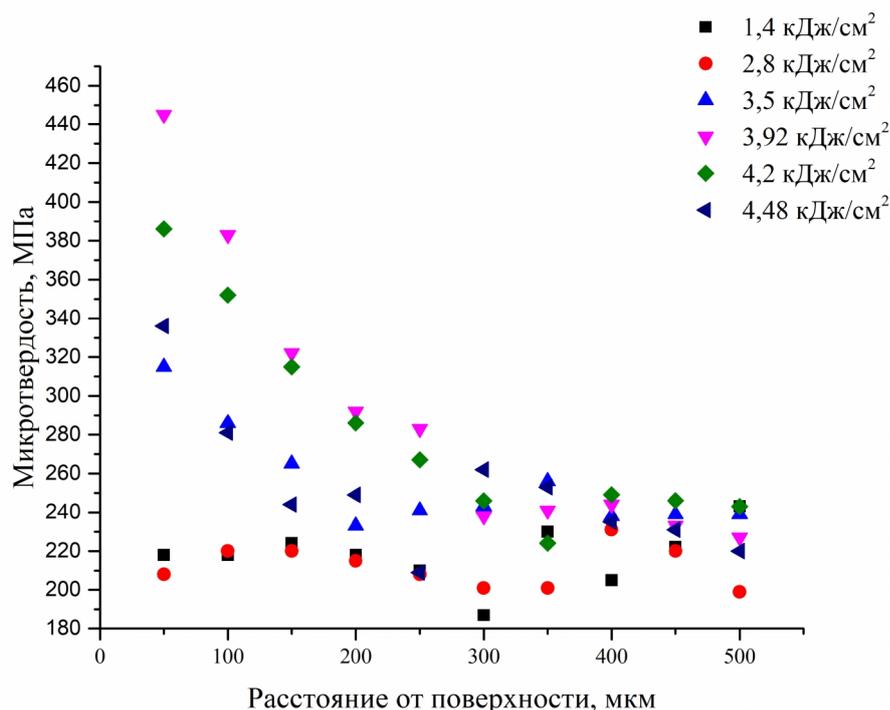


Рисунок 2. Распределение микротвердости по сечению сплава ОТ4 после обработки с различной удельной поверхностной энергией электронного пучка.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что микротвердость возрастает в тех случаях когда происходит плавление металла, т.е. при энергиях 3,5 – 4,48 кДж/см². Это, вероятно, связано с тем, что при кристаллизации из расплавленного состояния образуется искаженная мартенситная структура. Линейное падение микротвердости также указывает на то, что в результате плавления поверхность титана в результате диффузионных процессов может насыщаться кислородом.

Выводы

Обработка титана электронным пучком позволяет увеличить микротвердость поверхностных слоев сплава в несколько раз. Однако, микротвердость понижается линейно, что косвенно свидетельствует о диффузионном растворении кислорода во время плавления. Было выявлено, что плавление начинается при энергии пучка 3,5 кДж/см², а при значении энергии 2,8 кДж/см² происходят процессы первичной рекристаллизации.

Список литературы

1. Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В. Электронно-лучевая закалка поверхностного слоя стали вне вакуума // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № S1.
2. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода // Технологические возможности метода. – Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2013.
3. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2013.

4. 3-D Printing Manufacturing Process is Here [Electronic resource] // Independent global forum for the Unmanned Aircraft Systems community, UAS Vision. – URL: <https://www.uasvision.com/2012/07/16/3-d-printing-manufacturing-process-is-here>.
5. A comparison of laser additive manufacturing using gas and plasma-atomized Ti-6Al-4V powders / M.N. Ahsan et. al. // Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping. – London: Taylor & Francis Group, 2012.
6. *Khoshnevis B.*, et al. Metallic part fabrication using selective inhibition sintering (SIS) [Electronic resource] / Department of Industrial and Systems Engineering University of South California. – Los Angeles, CA, USA. – URL: <https://docs.google.com>.
7. *Еременко В.Н., Найдич Ю.В.* Спекание в присутствии жидкой металлической фазы. – Киев: Наукова думка, 1968. – 123 с.
8. *Shingu P.H.* Mechanical alloying // Proceedings of the International Symp. on Mechanical Alloying, Kyoto, Japan. – Brookfield, USA: Trans. Tech. Publications c/o Ashgate Publishing Co., 1992. – P. 828.
9. *Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C.* Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen für qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge // Stahl und Eisen. – 2005. – Vol. 125. – P. 258.
10. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников = Measurements microhardness by diamond instruments indentation. – Переизд. март 1993 г. с изм. 1, 2; введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 35 с.
11. Влияние прокатки и термической обработки на структуру и свойства слоев, сформированных на титановых заготовках методом электронно-лучевой наплавки / В.В. Самойленко и др. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 2. – С. 55–63.
12. Composition-dependent magnitude of atomic shuffles in Ti–Nb martensites / M. Bönisch et al. // Journal of Applied Crystallography. – 2014. – Vol. 47, N 4. – P. 1374–1379.
13. A study on the mechanical properties of ti-8ta-3nb alloy for biomaterials / K.W. Lee et al. // KSME International Journal. – 2004. – Vol. 18, N 12. – P. 2204–2208.
14. *Afonso C.R.M., Chaves J.M., Florêncio O.* Effect of rapid solidification on microstructure and elastic modulus of β Ti–xNb–3Fe alloys for implant applications // Advanced Engineering Materials. – 2017. – Vol. 19, N 6.
15. A study on thermal properties and α (hcp) \rightarrow β (bcc) phase transformation energetics in Ti–5 mass% Ta–1.8 mass% Nb alloy using inverse drop calorimetry / M. Behera et al. // International Journal of Thermophysics. – 2010. – Vol. 31, N 11–12. – P. 2246–2263.

**INFLUENCE OF THE SPECIFIC SURFACE ENERGY OF THE ELECTRON BEAM
ON THE THICKNESS OF QUENCHED LAYER OF TITANIUM ALLOY OT4
FORMED BY NON-VACUUM ELECTRON BEAM TREATMENT**

Ivanov I.V., Ph.D. student, e-mail: i.ivanov@corp.nstu.ru

Rudenia E.A., Student, e-mail: katya.rudenia@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

Experiments of quenching of the titanium alloy OT4 were carried out by an non-vacuum electron beam. It was found that a primary crystallization processes occurs if specific beam energy is 2.8 kJ/cm². However, melting is occurs and hardened structure is formed if specific beam energy is over than 3.5 kJ/cm². That structure has a high hardness (up to 450 HV), compared to the base material (about 200 HV). The microstructure of the obtained materials was studied by optical metallography. The phase composition was determined by X-ray phase analysis.

Keywords

electron-beam treatment, quenching, titanium alloys, microhardness

УДК 621.791.92, 621.793.79

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПУТЕМ СИНТЕЗА КАРБИДНЫХ И БОРИДНЫХ ЧАСТИЦ В ПОКРЫТИЯХ*

*Л.В. ЧУЧКОВА, аспирант
А.С. БЕЛОВ, студент
В.С. ВАСИЛЬЕВА, студент
А.Д. ВЯЛОВА, студент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Чучкова Л.В. - 630073, г. Новосибирск, пр. К. Макса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: L_Chuchkova@bk.ru

В работе представлены исследования модифицированных слоев, сформированных на титановом сплаве при наплавке порошковой смеси, в состав которого входило 10, 15 и 20 вес. % карбида бора. При высокотемпературном воздействии электронным лучом и последующей направленной кристаллизации образуются поверхностно-легированные слои, состоящие из первичных кристаллов борида титана неправильной формы и карбида титана дендритной морфологии максимальная общая объемная доля которых составила ~ 32 %. Следует отметить, что даже при наплавке 10 вес. % карбида бора в нижней части покрытия были зафиксированы нерастворившиеся частицы порошка. ДюрOMETрические испытания осуществлялись от поверхности вглубь сформированного слоя. Максимальный уровень микротвердости был зафиксирован у образца, полученного при наплавке 20 вес. % порошка карбида бора и составил 5210 МПа. Для определения износостойкости были проведены испытания полученных модифицированных слоев на трение в условиях воздействия закрепленных частиц абразива. Максимальная износостойкость, в 1,2 раза превышающая износостойкость эталона, была зафиксирована у образца, сформированного при наплавке порошковой смеси, в состав которой входило 20 вес. % карбида бора.

Ключевые слова: вневакуумная электронно-лучевая наплавка, покрытия, карбид бора, микротвёрдость, износостойкость

Введение

В настоящее время наиболее актуальным вопросом в материаловедении является улучшение эксплуатационных свойств изделий, работающих в условиях абразивного изнашивания. Одним из эффективных методов решений данной проблемы является поверхностное упрочнение. Наплавка порошковых смесей, в состав которых входят такие элементы как бор, углерод и азот, позволяет сформировать износостойкие слои на поверхности конструкционных металлов.

Одним из перспективных материалов в машиностроении является титан и сплавы на его основе благодаря малой плотности, высокой коррозионной стойкости и вязкости при комнатной температуре. Однако, низкие триботехнические свойства ограничивают область

* «Работа выполнена в Новосибирском государственном техническом университете при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (договор № 02.G25.31.0144 от 01.12.2015 г.)».

его применения [1-3]. Для повышения эксплуатационных характеристик титанового сплава применяют различные способы обработки, в том числе осаждение, напыление, наплавка, химико-термическая обработка [4-8].

На сегодняшний день метод электронно-лучевого оплавления в воздушной атмосфере является наиболее прогрессивным [9-13]. Данная технология объединяет в себе такие преимущества как высокая производительность процесса и показатель коэффициента полезного действия (КПД), а также возможность осуществлять обработку в воздушной среде, благодаря чему с заготовок снимаются габаритные ограничения [14-15]. Таким образом, целью данного исследования являлся синтез высокопрочных частиц карбида и моноборида титана методами вневакуумной электронно-лучевой обработки с последующим определением твердости и износостойкости полученных модифицированных слоев.

Материалы и методы

В ходе работы формирование модифицированных слоев производилось в институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) с использованием промышленного ускорителя электронов типа ЭЛВ-6.

Опираясь на проведенный литературный анализ, в качестве материала основы был выбран титановый сплав ВТ6. Для синтеза карбидной и боридной фазы в состав наплавочной смеси входил порошок карбида бора, концентрация которого варьировалась с 10 до 20 вес. % и порошок титана в качестве смачивающей компоненты (с 40 до 30 вес. %). Для обеспечения защиты ванны расплава от атмосферного воздействия и формирования бездефектных покрытий в состав наплавочной смеси также входили порошки фтористых флюсов CaF_2 и LiF (40+10 вес. %). Режимы обработки, такие как ток пучка (30 мА), скорость перемещения заготовки относительно выпускного отверстия (25 мм/с) и плотность насыпки ($0,2 \text{ г/см}^2$) оставались неизменными.

Результаты и обсуждение

Металлографические исследования сформированных модифицированных слоев показали, что в покрытиях, полученные при наплавке 10 вес. % порошка карбида бора выделяются первичные мелкодисперсные кристаллы бориды титана и частицы карбида титана эвтектического типа (рисунок 1 а). В нижней зоне покрытия были зафиксированы небольшие скопления нерастворившихся частиц порошка карбида бора. Повышение концентрации карбида бора в исходной порошковой насыпке до 20 вес. % приводит к увеличению объемной доли упрочняющей фазы до 32 %. На рисунке 1 б, в представлена микроструктура данного покрытия. Увеличение концентрации порошка карбида бора способствует формированию крупных дефектных частиц бориды титана и дендритных кристаллов карбида титана. Исследования тонкой структуры и дальнейший химический

анализ модифицированных слоев показали, что дефектные полости кристаллов борида титана заполнены титановым сплавом (рисунок 1 г).

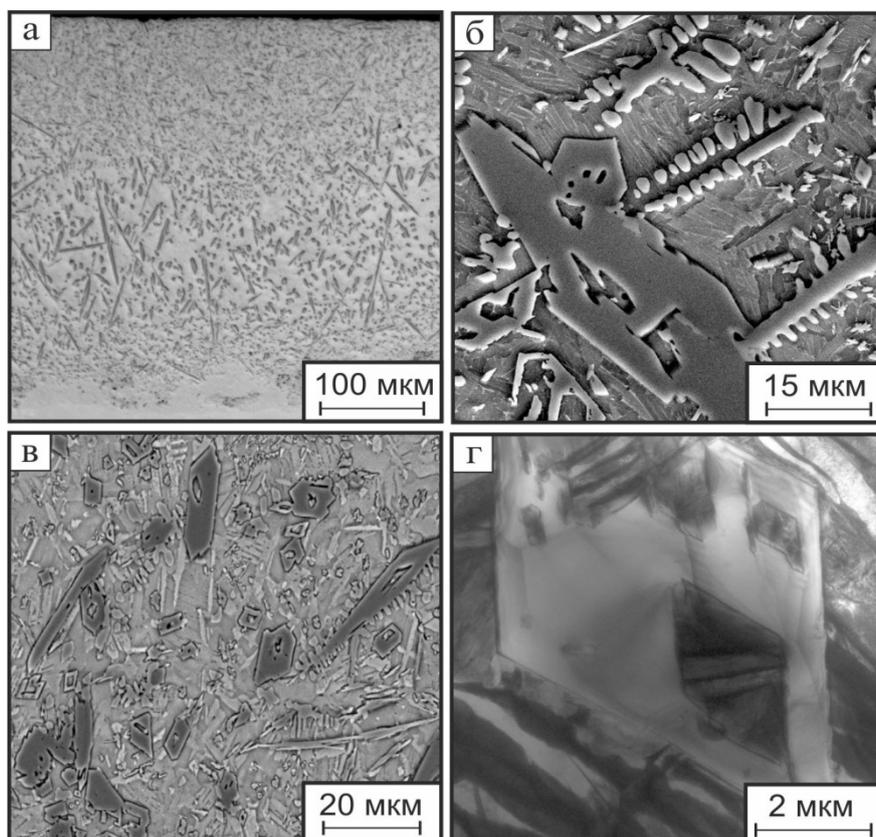


Рис. 1. Микроструктуры модифицированных слоев, полученных методом вневакуумного электронно-лучевого оплавления титанового сплава ВТ6:

а – световая микроскопия (10 вес. % карбида бора); б, в – растровая электронная микроскопия (20 вес. % карбида бора); г – просвечивающая электронная микроскопия (15 вес. % карбида бора)

Анализ распределения среднего уровня микротвердости по глубине наплавленного слоя показал, что объемная доля упрочняющей фазы напрямую зависит на микротвердость покрытия. Максимальная микротвердость равная 5210 МПа была зафиксирована у образца, полученного при наплавке порошковой смеси в состав которой входит 20 вес. % карбида бора. Снижение концентрации карбида бора до 10 вес. % приводит к уменьшению количества объемной доли упрочняющих частиц, в следствие чего значение микротвердости снижается до 3950 МПа.

Для определения износостойкости модифицированных слоев были проведены испытания на трение в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц. Анализ полученных результатов показал, что максимальная износостойкость в 1,2 раза выше в сравнении с не модифицированным титановым сплавом ВТ6 была зафиксирована у образца, полученного при наплавке 20 вес. % порошка карбида бора.

Выводы

Электронно-лучевая обработка в воздушной атмосфере является уникальным и перспективным методом формирования различного рода модифицированных слоев, которые позволяют повысить комплекс эксплуатационных свойств конструкционных материалов.

Наплавка порошковой смеси, в состав которой входит карбид бора методом вневакуумного электронно-лучевого оплавления титановый сплав ВТ6 позволяет сформировать слои, состоящие из высокопрочных частиц карбида и моноборида титана. Изменение концентрации наплавляемого порошка карбида бора до 20 вес. % позволяет увеличить объемную долю упрощающей фазы до ~ 32 %, что напрямую влияет на показатели микротвердости и износостойкости данных модифицированных слоев. Таким образом, образцы с концентрацией карбида бора в исходной порошковой смеси равной 20 вес. % показали максимальное значение микротвердости (5210 МПа) и износостойкости (в 1,2 раза выше титанового сплава ВТ6) в условиях воздействия закреплённых абразивных частиц.

Список литературы

1. *Leyens C., Peters M.* Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications. – Weinheim: Wiley-VCH, 2003. – 514 p.
2. *Lütjering G., Williams J.C.* Titanium. – Berlin: Springer, 2003. – 369 p.
3. *Металловедение титана и его сплавов / С.П. Белов и др.; отв. ред. С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев.* – М.: Металлургия, 1992. – 352 с.
4. *Лахтин Ю.М.* Химико-термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
5. *Хасуи А.* Наплавка и напыление. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
6. *Конструктивная прочность композиции основной металл-покрытие / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.А. Столбов, В.И. Синдеев* – Новосибирск: Наука, 1996. – 294 с.
7. *Балдаев Л.Х.* Газотермическое напыление: учебное пособие для вузов. – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с.
8. *Поляк М.С.* Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2 т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1995. – 688 с.
9. *Lenivtseva O., Chuchkova L., Krivezhenko D.* Structure and wear resistance of Ti-TiC-TiB layers obtained by non-vacuum electron beam cladding // MATEC Web of Conferences, ICMTMTE. – 2017. – Vol. 129. – P. 02022–02024.
10. *In situ synthesized (TiB+TiC)/Ti composite layers fabricated on Cp-Titanium by electron beam cladding / O. Lenivtseva, M. Golkovski, T. Ogneva, L. Chuchkova, O. Mats* // Metal 2017: 26th International Conference on Metallurgy and Materials. – Brno, Czech Republic, 2017. – P. 146.
11. *Шиллер З., Гайзиг У., Панцер В.* Электронно-лучевая технология. – М.: Энергия, 1980. – 528 с.
12. *Surface modification and alloying of metallic materials with lowenergy high-current electron beams / V.P. Rotshtein, D.I. Proskurovsky, G.E. Ozur, Yu.F. Ivanov, A.B. Markov* // Surface & Coatings Technology. – 2004. – Vol. 180. – P. 377–381.
13. *Structure and corrosion resistance of Ti-Nb layers obtained by non-vacuum electron beam cladding on CP titanium substrates / I.A. Polyakov, D.S. Krivezhenko, V.V. Samoylenko, O.G. Lenivtseva, I.S. Ivanchik, L.V. Chuchkova* // Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2016): AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1785. – P. 040047.
14. *Structure of surface layers produced by non-vacuum electron-beam boriding / I.A. Bataev, A.A. Bataev, M.G. Golkovski, D.S. Krivizhenko, A.A. Losinskaya, O.G. Lenivtseva* // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 284. – P. 472–481.
15. *Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование технология, свойства покрытий / В.Е. Панин, С.И. Белюк, В. Дураков, Г.А. Прибытков, Н.Г. Ремпе.* // Сварочное производство. – 2000. – № 2. – С. 34–38.

INCREASE OF THE COMPLEX OF OPERATING PROPERTIES OF TITANIUM ALLOYS BY SYNTHESIS OF CARBIDE AND BORIDE PARTICLES IN COATINGS

Chuchkova L.V., Post-graduate Student, e-mail: L_Chuchkova@bk.ru

Belov A.S., Student, e-mail: Al_belov98@mail.ru

Vasilieva V.S., Student, e-mail: wera.wasiljewa@yandex.ru

Vyalova A.D., Student, e-mail: nastya13-29.98@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

In this paper, studies of modified layers formed on a titanium alloy during surfacing of boron carbide powder are presented. At high temperature exposure and subsequent crystallization, coatings consisting of primary titanium boride crystals of irregular shape and titanium carbide of dendritic morphology are formed. The maximum total volume fraction of these phases was ~ 32 %. Durometric tests were carried out from the surface into the interior of the formed layer. The maximum level of microhardness was recorded in the sample obtained when surfacing 20 wt. % of boron carbide powder and was 5210 MPa. To determine the wear resistance, the obtained modified layers by method of abrasion test by friction against embedded abragant grain. The maximum wear resistance 1.2 times higher than the reference sample was recorded in the sample formed during the surfacing of the powder mixture, which included 20 wt. % boron carbide.

Keywords

Nonvacuum electron-beam cladding, coats, boron carbide, microhardness, wear resistance

УДК 620.18

ПОЛУЧЕНИЕ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ*

*М.В. РАШКОВЕЦ, аспирант
А.А. НИКУЛИНА, канд. техн. наук
А.А. ЛЯПУНОВА, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Рашковец М. В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: lipa_04@mail.ru

В статье приведены результаты исследований структуры образцов из жаропрочного никелевого сплава, полученного высокоскоростным прямым лазерным выращиванием при различных режимах мощности лазерного излучения. В структуре выявлено преимущественно дендритное строение, за исключением образца, сформированного при минимальной мощности 450 Вт. Границы между соседними слоями, наблюдались во всех образцах. Твердость слоя возрастает с увеличением мощности лазерного излучения.

Ключевые слова: структура, высокоскоростное прямое лазерное выращивание, никелевые сплавы, жаропрочный никелевый сплав

Введение

Аддитивные технологии позволяют в значительной степени улучшить технологию получения изделий со сложной геометрией не только снизив время изготовления относительно применяемых технологий литья, но и сократить потери материала в сравнении со стандартными технологиями точения и фрезерования, при использовании которых может удаляться до 90 % материала заготовки [1-3]. За основу технологии высокоскоростного прямого лазерного выращивания, разработанной в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого, взят стандартный принцип послойного формирования изделий. Подача порошка осуществляется с использованием коаксиального сопла, характеризующегося независимостью параметров выращивания от направления движения технологической головки [4-6]. Транспортировка исходного порошка осуществляется через сжатую струю газа. При попадании порошка на подложку происходит частичный нагрев и плавление частиц исходного материала. Данная теория процессов, происходящих в газопорошковой струе при ее падении на подложку была разработана сотрудниками СПбПУ. В теории, при частичной плавке исходного сырья происходит объемная кристаллизация стенки изделия, обладающая лучшими механическими характеристиками, чем направленная кристаллизация [6-8]. Схема высокоскоростного прямого лазерного выращивания представлена на рисунке 1.

* Работы выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение № 14.610.21.0013, идентификатор проекта RFMEFI61017X0013). Исследования выполнены в ЦКП ССМ НГТУ.

Никелевый жаропрочный гранулируемый сплав ВВ751 применяется для изготовления жаропрочных изделий ответственного назначения [9]. Сплав характеризуется хорошей обрабатываемостью, свариваемостью, имеет высокие механические свойства прочности, коррозионной стойкости в широком диапазоне агрессивных сред, жаростойкостью и жаропрочностью [10-12]. Обладая вышеуказанными характеристиками, сплав применяется в авиа- и ракетостроении при изготовлении турбинных дисков и лопаток.

Исследование в данной работе было направлено на изучение структуры, сформированной аддитивным методом при различных мощностях лазерного излучения.

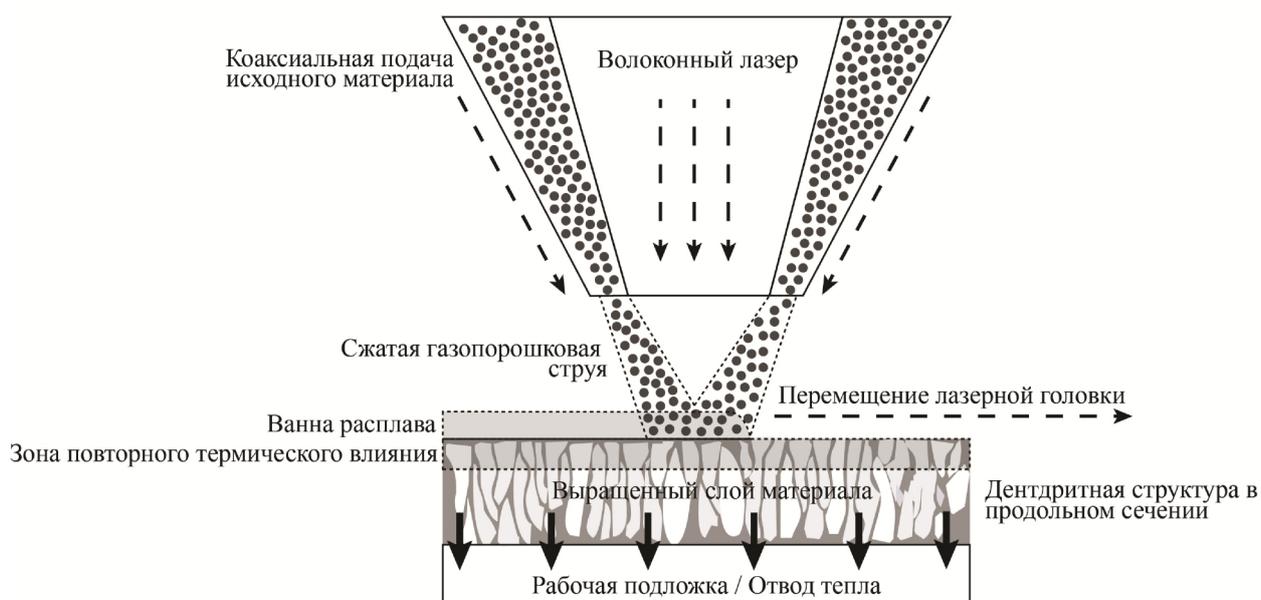


Рис. 1. Схема высокоскоростного прямого лазерного выращивания.

Методика проведения эксперимента

Формирование образцов на экспериментальной установке при различных режимах мощности лазерного излучения (450 Вт, 600 Вт, 900 Вт, 1200 Вт) и постоянных остальных параметрах (скорость сканирования 1,2 мм/с, скорость подачи порошка 45 г/мин, диаметр лазерного пятна 1,2 мм) осуществлялось СБПУ на кафедре «Сварка и лазерные технологии». Исследование поверхности частиц исходного порошка осуществлялось на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Оптическая металлография продольного сечения полученных образцов была проведена на инвертированном микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m. Отдельные участки поверхности были также изучены с использованием РЭМ. Для проведения измерения микротвердости использовался твердомер 600 MRD WolpertGroup.

Выращивание образца (тело вращения) выполнялось непрерывно с повышением мощности лазерного излучения. Перед началом исследований образец был нарезан на мерные заготовки относительно применяемой мощности. Для проявления структуры образцов применялся раствор, имеющий следующие пропорции: 2 мл HNO_3 , 4 мл HCl и 2 мл H_2O_2 .

Результаты исследований

Продольное сечение всех сформированных образцов при различных режимах мощности лазерного излучения отражено на рисунке 2. Из снимков видно, что при повышении данного параметра в теле образца преобладает дендритное строение. Кроме того, рост зерен начинает приобретать направленный характер, что является нежелательной характеристикой для механических свойств будущего изделия [13-14].

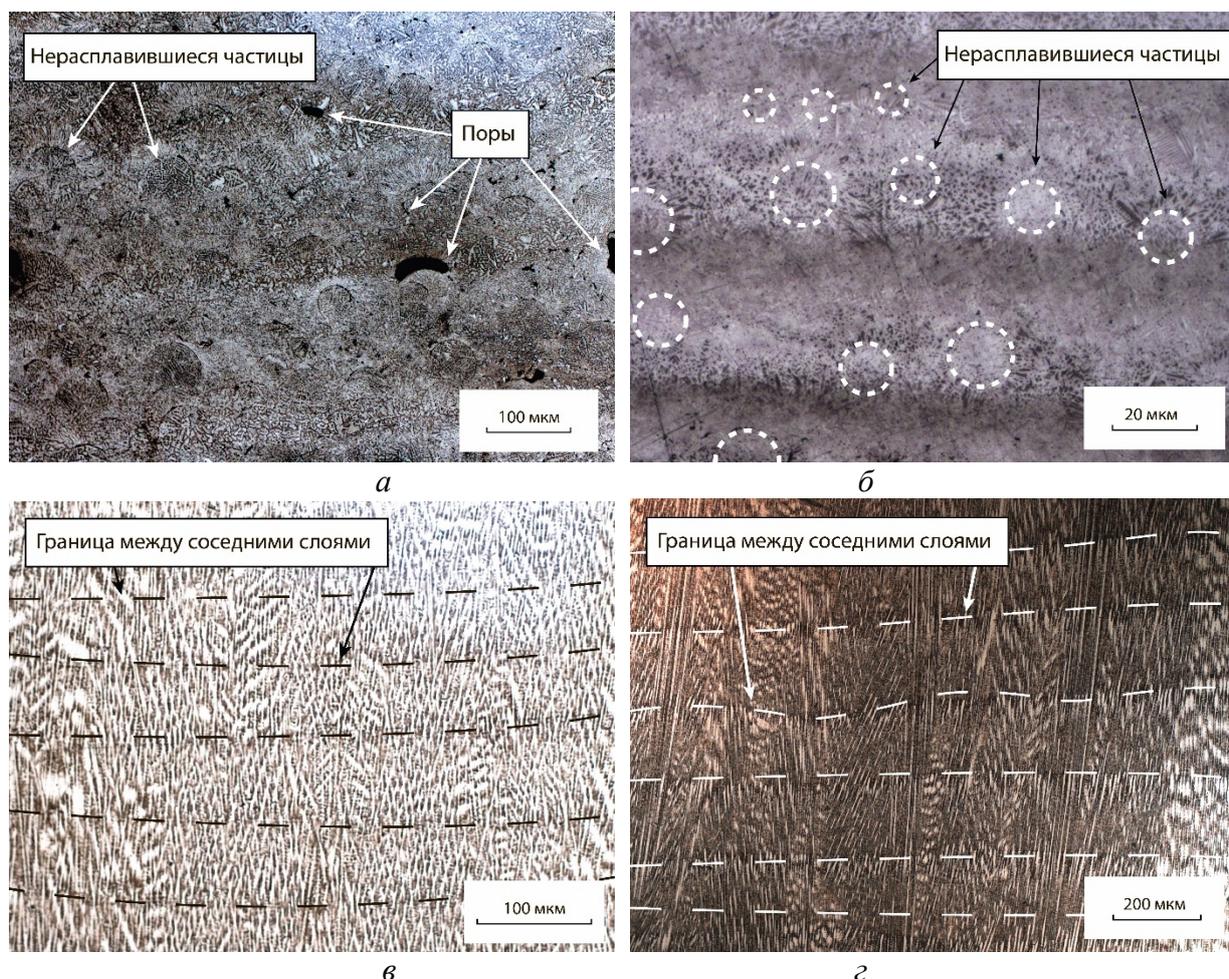


Рис. 2. структура продольного сечения образцов, сформированных при различных мощностях лазерного излучения: 450 Вт (а), 600 Вт (б), 900 Вт (в), 1200 Вт (г).

Микроструктура образца, выращенного при минимальной мощности 450 Вт, представлена большим объемом нерасплавленных частиц исходного порошка и пор по их периметру. Такое строение сформировано несмотря на высокую скорость охлаждения, вследствие расположения данной зоны при выращивании образца непосредственно у подложки. Резкое изменение структуры наблюдалось при повышении мощности до 600 Вт (рис. 3 а). При этом в зоне с мощностью 600 Вт формируется структура, близкая к теоретической с отсутствием направленных кристаллов (рис. 3 б). Кроме того, наличие пор в образцах при максимальной мощности представлено значительно меньшим объемом в сравнении с образцом, полученным при минимальной мощности.

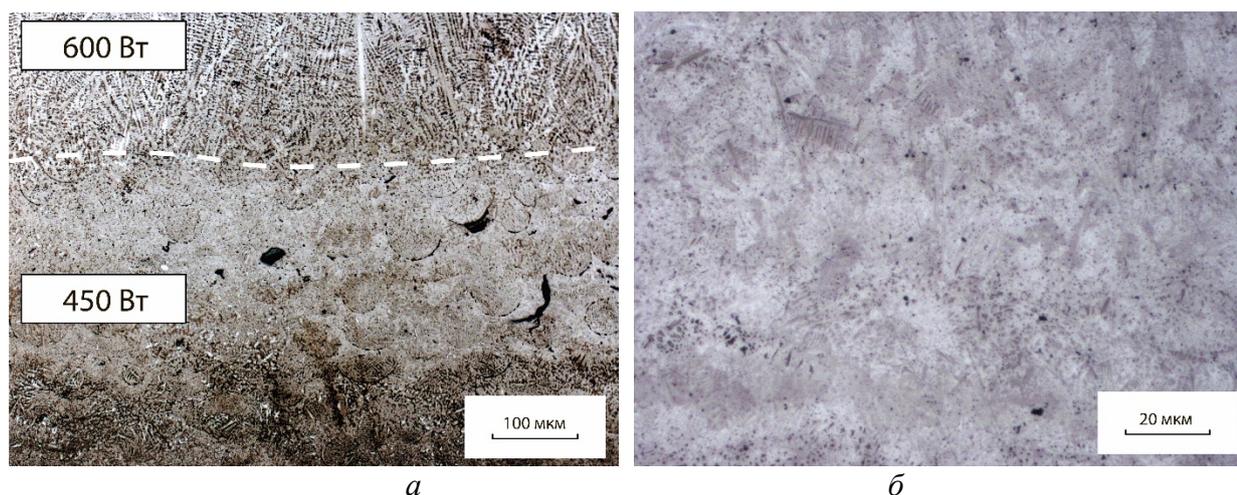


Рис. 3. Переходная зона: переход от минимальной мощности 450 Вт к 600 Вт (а), микроструктура образца с мощностью 600 Вт.

При повышении мощности выше 900 Вт структура, как было сказано выше, начинает приобретать направленный рост зерен (рис. 2 в) с прослеживающийся границей между соседними слоями. Формирование подобных границ, согласно статье [15], связано со зависимостью кристаллизации и температурного градиента. При кристаллизации скорость роста зерен быстро увеличивается от нижней части расплавленного участка до поверхности, приобретая скорость, близкую к скорости лазерного сканирования. При этом температурный градиент является самым высоким при начале кристаллизации и уменьшается по мере достижения верхней части участка расплава. Поэтому рост столбчатых кристаллов доминирует в начале затвердевания ванны расплава, при этом в конце начинает преобладать равноосная структура.

Исходя из вышенаписанного, авторы заключили, что так как при послойном формировании материал подвергается повторному термическому влиянию, то равноосная структура, повторно расплавляясь, инициирует эпитаксиальный рост столбчатых кристаллов, что в нашем случае ярко доказывает снимок, сделанный на световом микроскопе, образца с мощностью 900 Вт (рис. 4).

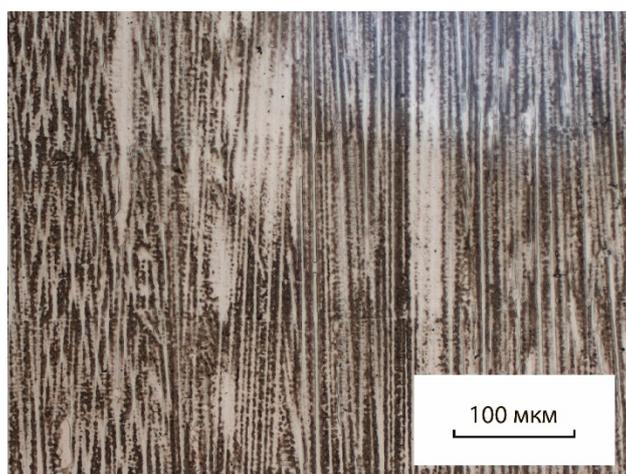


Рис. 4. Эпитаксиальный рост дендритов в образце, полученном при мощности 1200 Вт.

Твердость имеет тенденцию увеличиваться с повышением мощности лазерного излучения (рис. 5).



Рис. 5. Микротвёрдость образцов в зависимости от увеличения мощности лазерного излучения.

Выводы

На данном этапе исследования можно сделать вывод о зависимости структуры выращиваемых образцов от мощности лазерного излучения. Структура с наибольшим объемом дефектов характерна для минимальной мощности выращивания вследствие большого количества не растворившихся частиц исходного материала, что также влияет на снижение твердости материала. Структура с минимальным объемом дефектов получен при максимальной мощности в 1200 Вт, однако, при этом формируется направленный рост зерен. Для средней мощности (600 Вт) присуща структура, близкая к теоретическим расчетам СПБПУ.

При изготовлении изделий ответственного назначения, работающих при высоких эксплуатационных температурах важно достигать однородности в структурном строении элементов. Поэтому эпитаксиальный рост зерен должен прослеживаться во всем объеме изделия, что показывают снимки, полученные от образцов с мощностью 900 Вт и 1200 Вт. Но при этом в образцах, присутствует граница между соседними слоями, наличие которой также необходимо избежать.

Список литературы

1. A methodology for optimization of the Direct Laser Metal Deposition process / A. Angelastro, S.L. Campanelli, G. Casalino, A.D. Ludovico, S. Ferrara // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 473. – P. 75–82.

2. Rapid manufacturing of metal components by laser forming / E.C. Santosa, M. Shiomi, K. Osakada, T. Laoui // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2006. – Vol. 46. – P. 1459–1468.
3. *Ludovico A.D., Angelastro A., Campanelli S.L.* Experimental analysis of the direct laser metal deposition process // *New trends in technologies: devices, computer, communication and industrial systems*. – Rijeka: Sciyo, 2010. – P. 253–272.
4. *Зеленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М.* Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. – М.: НАМИ, 2015. – 220 с.
5. The influence of processing parameters on the mechanical properties of SLM parts / P. Hanzl, M. Zetek, T. Bakša, T. Kroupa // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 1405–1413.
6. Technological possibilities of laser cladding with the help of powerful fiber lasers / G.A. Turichin, E.V. Zemlyakov, E.Yu. Pozdeeva, J. Tuominen, P. Vuoristo // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2012. – Vol. 54. – P. 139–144.
7. Technological foundations of high-speed direct laser deposition of products by the method of heterophase powder metallurgy / G. Turichin, O. Klimova, E. Zemlyakov, K. Babkin, V. Somov // *Fotonika*. – 2015. – N 4. – P. 68–83.
8. *Шабров Н.Н.* Реальные достижения виртуальной реальности // *Rational Enterprise Management*. – 2011. – № 2. – С. 46–48.
9. ОАО «Вилс» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2017/10/04/486573.html> (дата обращения: 13.03.2018).
10. Технологии. Инжиниринг. Инновации [Электронный ресурс]. – URL: <http://integral-russia.ru/2017/08/05/vserossijskij-institut-legkih-splavov-predstavil-nikelevyj-zharoprochnyj-granuliruemyj-splav-bb751p-dlya-dvigatelya-pd-14/> (дата обращения: 13.03.2018).
11. *Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
12. *Dindaa G.P., Dasguptaa A.K., Mazumderb J.* Laser aided direct metal deposition of Inconel 625 superalloy: microstructural evolution and thermal stability // *Materials Science and Engineering A*. – 2009. – Vol. 509. – P. 98–104.
13. Mechanical behavior of post-processed Inconel 718 manufactured through the electron beam melting process / M.M. Kirka, F. Medinac, R. Dehoffa, A. Okello // *Materials Science & Engineering A*. – 2017. – Vol. 680. – P. 338–346.
14. Study of selective laser melting (SLM) Inconel 718 part surface improvement by electrochemical polishing / Zh. Baicheng, L. Xiaohua, B. Jiaming, G. Junfeng, W. Pan, S. Chenan, N. Muiling, Q. Guojun, W. Jun // *Materials & Design*. – 2017. – Vol. 116. – P. 531–537.
15. Laser rapid forming of SS316L/Rene88DT graded material / X. Lin, T.M. Yue, H.O. Yang, W.D. Huang // *Materials Science and Engineering A*. – 2005. – Vol. 391. – P. 325–336.

**MANUFACTUREAD OF THE HEAT-RESISTANT NICKEL ALLOY BY ADDITIVE
TECHNOLOGY OF HIGH-SPEED DIRECT LASER DEPOSITION**

Rashkovets M. V., Ph.D. student, e-mail: lipa_04@mail.ru

Nikulina A.A., K.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: a.nikulina@corp.nstu.ru

Lyapunova A.A., Master's degree student, e-mail: annlyapunova@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The paper presents the results of structure investigation of the as-deposited samples from a high-temperature nickel-based alloy obtained by high-speed direct laser deposition with different laser power parameters. The structure has a predominantly dendritic structure, with the exception of the as-deposited sample manufactured with the minimum laser power of 450 W. There is a significant difference in structure between 450 W and 600 W. The boundaries between neighboring layers were observed in all the as-deposited samples. The hardness of the layers increases with increasing the laser power.

Keywords

structure, high-speed direct laser deposition, Ni-based alloys, heat resistance Ni-based alloy

УДК 620.9

**НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ СОДЕРЖАЩЕГО NbC
НА СТАЛЬ 12X18H9T ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ, ВЫВЕДЕННЫМ В АТМОСФЕРУ***

*В.В. ЛОСКУТНИКОВА, магистрант
Е.Г. БУШУЕВА, аспирант
А.Г. ТЮРИН, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Лоскутникова В.В. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: varvara.laskutnikova@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования структуры и свойств покрытий на стали 12X18H9T, содержащих NbC и сформированных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В качестве наплавляемого материала использовался порошок карбида ниобия. Ток электронного пучка увеличивался от 22 до 24 мА. Полученные покрытия имеют толщину до 3 мм и не содержат трещин и пор. В зависимости от тока наплавки значения микротвердости составляет от 4,5 до 8 ГПа. Микротвердость покрытий в 3 раза превышает твердость основного материала. Износостойкость покрытий при трении о закрепленные частицы абразива в 2 раза выше износостойкости основного металла.

Ключевые слова: Электронно-лучевая наплавка, карбид ниобия, коррозионностойкая сталь, износостойкость.

Введение

В нефтегазодобывающей промышленности буровые работы проводят под управлением телеметрической системы, отдельные элементы которой изготавливаются из дорогостоящих твердых сплавов, обладающих низкой технологичностью [1-2]. Данные элементы постоянно подвергаются интенсивному изнашиванию. С одной стороны, происходит воздействие высококонцентрированными кислотами и щелочами, которые выступают в роли промывочных жидкостей и аварийных растворов, с другой стороны, абразивное воздействие частиц отработанной породы [3]. Другим возможным материалом для изготовления элементов телеметрической системы является коррозионностойкая сталь 12X18H9T, отличающаяся устойчивостью к работе в агрессивной среде и высокой технологичностью [4]. Однако данный материал имеет существенный недостаток - низкое сопротивление абразивному изнашиванию [5]. Поэтому повышение износостойкости поверхностных слоёв хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T методом наплавки твердых покрытий представляет актуальную задачу современного материаловедения.

Одним из эффективных способов повышения механических свойств покрытий является упрочнение путём введения в материал тугоплавких дисперсных фаз [6-8]. Для повышения износостойкости материалов, методом введения тугоплавких частиц применяют высокоэнергетические технологии. С этой точки зрения перспективным является метод вневакуумной электронно-лучевой обработки. Преимуществами метода являются: высокий КПД установки (75 %), большая мощность (до 100 кВт), глубокое проплавление материала, высокая адгезия слоёв основной материал-покрытие, выбор режима при изменении параметров [9]. Возможность обработки крупногабаритных изделий также является важным

* Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение №14.610.21.0013, идентификатор проекта RFMEFI61017X0013).

преимуществом, так как такой тип изделий характерен установкам нефтегазодобывающей промышленности.

Проплавление как основного материала, так и порошковой смеси происходит вследствие взаимодействия электронного пучка с поверхностными слоями. Тепловые и диффузионные процессы, которые при этом возникают, обеспечивают перемешивание порошка покрытия с верхним расплавленным слоем материала основы. Покрытие формируется путем охлаждения оплавленного участка за счет теплоотвода в не нагретые слои основного металла [10].

Чаще всего в качестве таких материалов применяются твердые частицы – карбиды, нитриды и бориды. Это чрезвычайно твердые соединения, способные в десятки раз увеличить износостойкость поверхности, будучи включенными в состав связующего материала [11]. Карбиды ниобия отличаются повышенной твердостью, износостойкостью, термодинамической стабильностью. Согласно источнику [12] частицы карбида ниобия, не вступают в химическое взаимодействие, при оплавлении на поверхности стали, что позволяет сохранить карбидную фазу (NbC) в покрытии и обеспечить эффективное дисперсионное упрочнение.

Материалы и методы

Наплавка покрытий осуществлялась путем нанесения на основной материал порошковых смесей и их последующего оплавления. В качестве материала основы использовалась коррозионноустойчивая хромоникелевая сталь 12X18H9T. В качестве наплавляемой порошковой смеси использовали порошковую смесь следующего состава: NbC (40 %) и MgF₂ (50 %), Fe (10%). Карбид ниобия выступал как упрочняющий компонент. В качестве флюса был выбран MgF₂ [13].

Наплавка порошковых смесей проводилась в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера (ИЯФ) СО РАН на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6. Обработка осуществлялась в сканирующем режиме по следующим параметрам: энергия электронного пучка – 1,4 МэВ; максимальная мощность 100 кВт; частота сканирования 5 Гц; скорость перемещения образца относительно пучка – 10 мм/с; ток пучка изменялся от 22 до 24 мА. В процессе обработки порошковая смесь, состоящая из карбида ниобия и флюса, равномерно распределялась по поверхности основы из стали 12X18H9T. Масса насыпки на площади в 1 см² составляла 0,45 г.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе *Axio Observer Z1m (Carl Zeiss)* с увеличением до 1000 крат. Для металлографического анализа готовились микрошлифы по стандартной методике, включающей шлифование, полирование с последующим травлением смесью концентрированных HNO₃ и HCl соотношении 1:3 соответственно.

Микротвердость образцов определяли методом Виккерса на микротвердомере *Wolpert Group 402MVD* при нагрузке 100 г. Измерения микротвердости осуществлялись согласно ГОСТ 9450-76 [14].

Оценка износостойкости наплавленных покрытий проводилась в условиях трения о закрепленные частицы абразива согласно ГОСТ 17367-71 [15]. Эталонным материалом служила сталь 12X18H9T. Относительная износостойкость наплавленных покрытий оценивали по потере длины изнашиваемого материала.

Все полученные данные по микротвердости и относительной износостойкости подвергались статистической обработке. Рассчитывался доверительный интервал и погрешность измерений с учетом коэффициента Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Результаты металлографических исследований образцов показали зависимость толщины, получаемого покрытия, от силы тока пучка. С увеличением силы тока пучка от 22 мА до 24 мА толщина наплавленного слоя увеличивается от 1 до 3 мм. При токе пучка 22 мА толщина покрытия составила 1 мм, при токе 23 мА – 2,5 мм, при токе 24 мА – 3 мм. Структура покрытия состоит из аустенита с равномерно распределенными частицами карбида ниобия по всему объёму (рис. 1, а). Частицы NbC представляют собой включения сложной геометрической формы (рис. 1, б). Следует отметить, что структура покрытия неоднородна по поперечному сечению. Объемная доля частиц карбидной фазы градиентно увеличивается в направлении от материала основы к поверхности наплавленного слоя. Переходный слой между покрытием и основным металлом имеет дендритное строение с включенными частицами карбида ниобия (рис. 1 в).

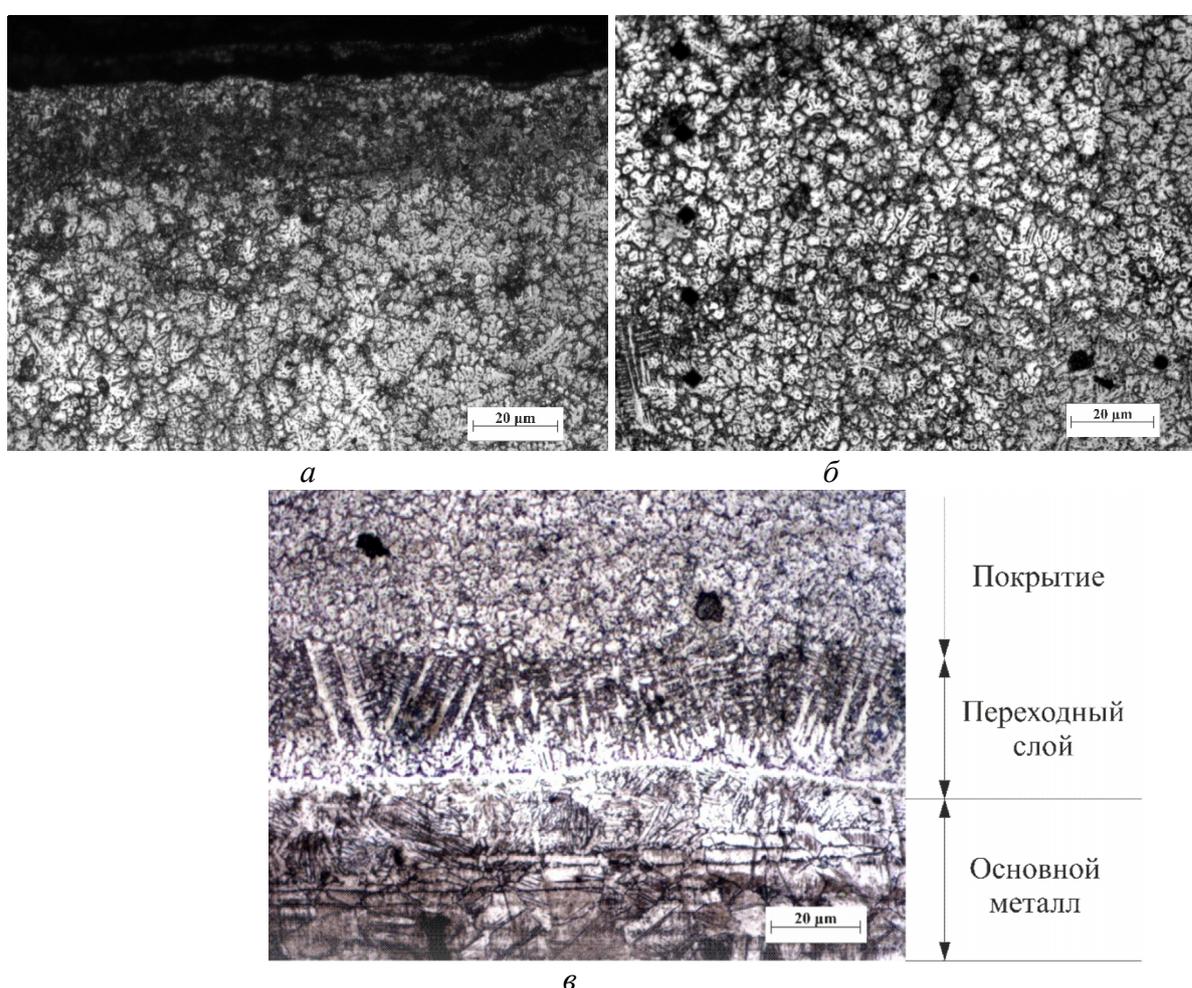


Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя, сформированного при токе наплавки $I = 24$ мА

Установлено, что микротвердость сформированных покрытий зависит от силы тока электронного луча. Наибольшее значение микротвердости имеет покрытие, полученные при силе тока 24 мА и составляет 8 ГПа. Микротвердость покрытий, полученных при токах 22 и 23 мА составляют 4,5 ГПа и 6 ГПа соответственно. Полученные значения существенно превышают значения микротвердости основного металла ≈ 2 ГПа.

Испытания по определению относительной износостойкости покрытий выявили аналогичную зависимость износостойкости от силы тока электронного луча. С увеличением силы тока от 22 до 24 мА относительная износостойкость увеличивается от 1,2 до 1,8 (сталь 12Х18Н9Т) (рис. 2). Максимальную жизнестойкость имеет покрытие полученное при токе 24 мА.

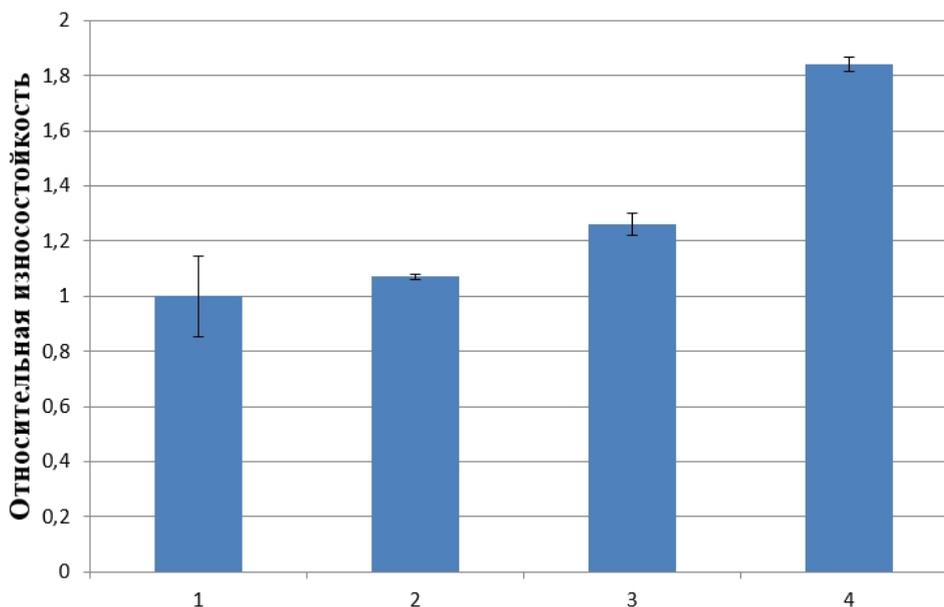


Рис. 2. Значения относительной износостойкости исследуемых покрытий: 1 – сталь 12Х18Н9Т, 2 – образец, полученный при силе тока пучка 22 мА, 3 – образец, полученный при силе тока пучка 23 мА, 4 – образец, полученный при силе тока пучка 24 мА,

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сформировать следующие выводы:

1. Применение вневакуумной электронно-лучевой обработки для наплавки покрытий содержащих частицы карбида ниобия на коррозионностойкие хромоникелевые стали является перспективным способом упрочнения поверхности. Полученные покрытия отличаются бездефектным строением и имеют толщину до 3 мм.

2. Установлено, что увеличение силы тока электронного луча от 22 до 24 мА при оплавлении покрытия приводит к увеличению значений микротвердости от 4,5 ГПа до 8 ГПа и относительной износостойкости от 1,2 до 1,84 (эталон сталь 12Х18Н9Т).

Список литературы

1. Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 216 с.
2. Солнцев Ю.П. Материаловедение: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
3. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. В 5 т. Т. 2: учебник для вузов / под общ.ред. В.П. Овчинникова. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 560 с.

4. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы / Шлямнев А.П. и др. – М.: Проммет-Сплав, 2008. – 336 с.
5. Карнович А.Н. Повышение эксплуатационных свойств поверхностных слоев хромистых, хромоникелевых и вольфрамомолибденовых сталей методом ионно-лучевого азотирования.: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. – Минск, 2017. – 204 с.
6. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2012. – 115 с.
7. Структура и конструктивная прочность композиции основной металл-покрытие / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.В. Столбов, В.И. Синдеев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 294 с.
8. Тушинский Л.И. Структурная теория конструктивной прочности материалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 400 с.
9. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – [Германия]: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. – 318 с.
10. Конструктивная прочность композиции основной металл-покрытие / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.В. Столбов, В.И. Синдеев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 269 с.
11. Бутыленкова О.А., Поляков И.А., Ленивецова О.Г. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошковой смеси (Ti+V₄C) на стальную основу // XIII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар молодых ученых-металловедов. II Международная научная школа для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов». – Екатеринбург, 2012. – С. 313–315.
12. Yun E., Lee S. Improvement of hardness and wear resistance in stainless-steelbased surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation // Surface & Coatings Technology. – 2006. – Vol. 200. – P. 3478–3485.
13. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing / I.A. Bataev, M.G. Golkovskii, A.A. Bataev, A.A. Losinskaya, R.A. Dostovalov, A.I. Popelyukh, E.A. Drobyaz // Surface & Coatings Technology. – 2014. – Vol. 242. – P. 164–169. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.038.
14. ГОСТ 17367–71. Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы. – Введ. 1972-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 8 с.
15. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – Введ. 1977-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 35 с.

WEAR-RESISTANT COATING WITH NbC ON 12X18H9T STEEL BY NON-VACUUM ELECTRON BEAM PROCESSING

Loskutnikova V.V., Master's Degree student, e-mail: varvara.laskutnikova@yandex.ru

Bushueva E.G., Post-graduate Student, e-mail: dusias@mail.ru

Tuyrin A.G., Ph.D. (Engineering), e-mail: a.tuyrin@nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The NbC wear-resistance coatings on 12X18H9T steel produced by non-vacuum electron beam cladding with niobium carbide are studied in the paper. The main process parameter determining the thickness, structure, and mechanical properties of the hardened layer was the electron-beam current. As the beam current was increased from 22 to 24 mA. Hardness increased from 4.5 to 8 GPa. In friction tests against fixed abrasive particles, the wear-resistance of the cladding layers was 1.84 times higher than the base material specimens. The optical and electron microscopy of the composite coatings microstructure showed that niobium carbide reinforcing particles are evolved during the process. The coating thickness is about 3 mm. The microhardness test as well as wear resistance test of materials under conditions of loose abrasive particles are conducted. The microhardness of the coating is 3 times higher than the base material. It is established that the precipitation of reinforcing particles improves the tribological properties of the composite coatings.

Keywords

12X18H9T steel, niobium carbide, electron beam cladding, wear resistance.

УДК 621

**ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 12Х18Н9Т ЧАСТИЦАМИ TiC
МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ***

*Е.А. ДРОБЯЗ, канд. техн. наук, доцент
Е.Г. БУШУЕВА, аспирант
Ф.А. КУЗИН, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Кузин Ф.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: kuzin_olimp@mail.ru

В работе исследованы структура, микротвердость и триботехнические свойства покрытий, сформированных на поверхности аустенитной хромоникелевой стали 12Х18Н9Т. В качестве метода поверхностного упрочнения использовали вневакуумную электронно-лучевую наплавку порошковых смесей содержащих карбид титана. Металлографические исследования показали, что зависимости от параметров обработки формируются покрытия, толщина которых варьируется от 1,2 до 1,6 мм. Максимальный уровень микротвердости наплавленных слоев достигает ~ 9,2 ГПа. Причины повышения твердости материала обусловлены формированием высокопрочных частиц карбида титана равномерно распределенных в пластичной аустенитной матрице. Результаты оценки износостойкости покрытия свидетельствуют о повышении стойкости поверхностных слоев в 1,5-2 раза в условиях воздействия закрепленных частиц абразива.

Ключевые слова: 12Х18Н9Т, вневакуумная электронно-лучевая наплавка, поверхностное упрочнение, износостойкость, абразивное изнашивание.

Введение

Буровые работы в нефтегазодобывающей промышленности проводят под управлением телеметрической системы, отдельные элементы которой выполнены из твердых сплавов. Несмотря на высокий уровень износостойкости, твердые сплавы обладают рядом недостатков, среди которых следует отметить низкую стойкость к коррозионному воздействию, вызываемому промывочными жидкостями и аварийными растворами, представляющими собой смеси кислот или щелочей [1-3]. В таких условиях эксплуатации срок службы изделия из твердого сплава значительно сокращается. В качестве альтернативы твердым сплавам можно выделить хромоникелевую аустенитную сталь 12Х18Н9Т, отличающуюся устойчивостью к агрессивной рабочей среде [4]. Однако этот материал имеет существенный недостаток - низкое сопротивление абразивному изнашиванию [5].

Одним из способов повышения уровня механических свойств сталей является их упрочнение путём легирования поверхностных слоев материала тугоплавкими дисперсными частицами [6-9]. Для его реализации все чаще используют высокоэнергетические методы обработки, к которым относится вневакуумная электронно-лучевая наплавка, направленная на формирование покрытия, обладающего высоким комплексом механических свойств. К преимуществам данной технологии можно отнести: высокий КПД установки (75 %),

* Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение №14.610.21.0013, идентификатор проекта RFMEFI61017X0013).

большую мощность (до 100 кВт), глубокое проплавление материала, высокую адгезию слоёв основной материал-покрытие. Кроме того, важным преимуществом является возможность обработки крупногабаритных изделий, свойственных установкам для нефтегазодобывающей промышленности.

Сущность вневакуумной электронно-лучевой наплавки заключается в расплавлении поверхностного слоя основного материала и предварительно нанесенных на обрабатываемый участок порошковых смесей. Высокие скорости нагрева и последующего охлаждения приводят к формированию развитой градиентной структуры наплавленного слоя [10]. Введение в ванну расплава высокопрочных тугоплавких частиц различного химического состава позволяет с использованием данной технологии повышать эксплуатационные свойства металлов и сплавов, такие как износостойкость, жаропрочность и жаростойкость и др.

Для повышения уровня износостойкости в большинстве случаев используют нитриды, карбиды и карбонитриды металлов. Наибольшее распространение получили карбиды титана, отличающиеся повышенной твердостью, износостойкостью, термодинамической стабильностью. Вводимые частицы эффективно обеспечивают дисперсионное упрочнение материала [11].

Целью данной работы является повышение износостойкости поверхностных слоев аустенитной хромоникелевой стали путем формирования покрытия на основе карбида титана методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Материалы и методы исследования

Модифицирование осуществлялось путем оплавления поверхностных слоев хромоникелевой аустениной стали (12X18H9T) с равномерно нанесенной порошковой смесью электронным пучком, выведенным в воздушную атмосферу. В качестве наплавляемой порошковой смеси применяли композицию состоящую из 40 % TiC, 10 % Fe и 50 % MgF₂. Карбид титана использовали как упрочняющий компонент, порошок Fe для смачивания модифицирующего материала [12]. MgF₂ был выбран в качестве флюса, для защиты наплавляемой порошковой смеси от окисления [13].

Наплавка проводилась в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера (ИЯФ) СО РАН на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6. Обработка осуществлялась в сканирующем режиме по следующим параметрам: энергия электронного пучка – 1,4 МэВ; частота сканирования 50 Гц; скорость перемещения образца относительно пучка – 10 мм/с; ток пучка 22-24 мА. Масса насыпки на 1 см² составила 0,45 г.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе *Axio Observer Z1m (Carl Zeiss)* с увеличением до 1000 крат. Для определения микротвердости образцов по Виккерсу использовался микротвердомер *WolpertGroup 402MVD*. Измерения осуществлялись в соответствии с ГОСТ 9450-76. Оценка износостойкости наплавленных покрытий проводилась в условиях трения о закрепленные частицы абразива по ГОСТ 17367-71. В качестве эталонного материала использовали сталь 12X18H9T.

Результаты и обсуждение

Результаты металлографических исследований свидетельствуют о формировании покрытий, толщина которых варьируется от 1,2 до 1,6 мм. Основными структурными составляющими, согласно микрорентгеноспектральному анализу, являются частицы карбида титана (TiC) находящиеся в вязкой аустенитной матрице (рис. 1). Частицы TiC,

представляющие собой включения различной формы, располагаются как в виде отдельно стоящих объектов, так и в виде небольших конгломератов (рис. 2, а). В поверхностных слоях покрытия наблюдается более компактное расположение упрочняющих частиц. Кроме того, следует отметить наличие в структуре покрытия участков обедненных тугоплавкими частицами (рис. 2, б). Формирование такой неоднородной структуры отражается на уровне микротвердости упрочненных слоев.

Исследования показали, что в зависимости от режимов вневакуумной электронно-лучевой наплавки максимальный уровень микротвердости покрытий достигает 6,2 ГПа ($I = 22$ мА), 9,2 ГПа ($I = 23$ мА) и 8,4 ГПа ($I = 24$ мА) соответственно, что существенно превышает значения твердости основного материала ($\sim 1,96$ ГПа). Снижение уровня твердости объясняется значительным расплавлением основного материала и увеличением вязкой составляющей в структуре покрытия. В областях с низкой концентрацией упрочняющей фазы уровень микротвердости соответствует ~ 4 ГПа.

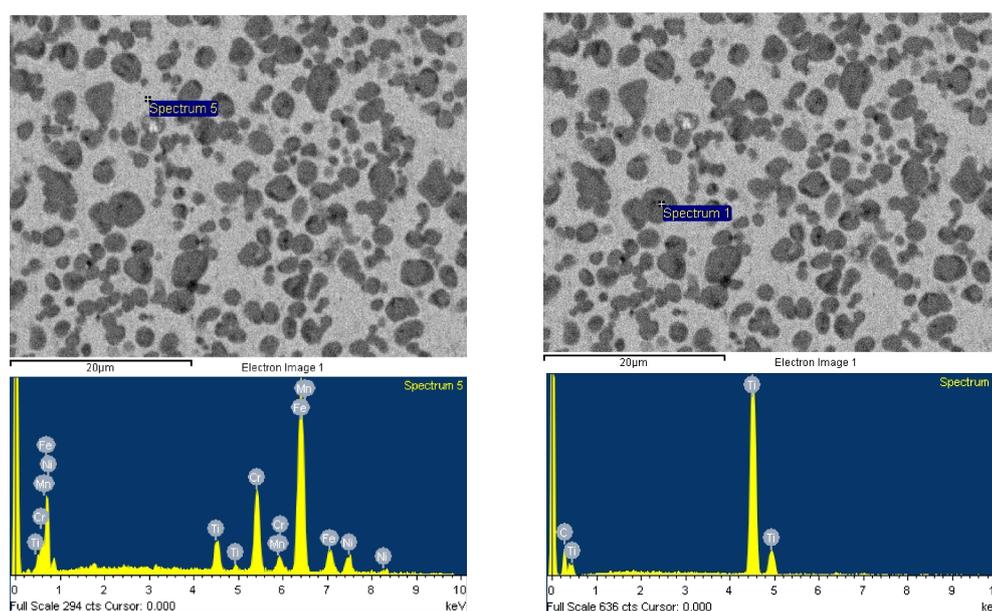


Рис. 1. Микрорентгеноспектральный анализ структурных составляющих покрытия

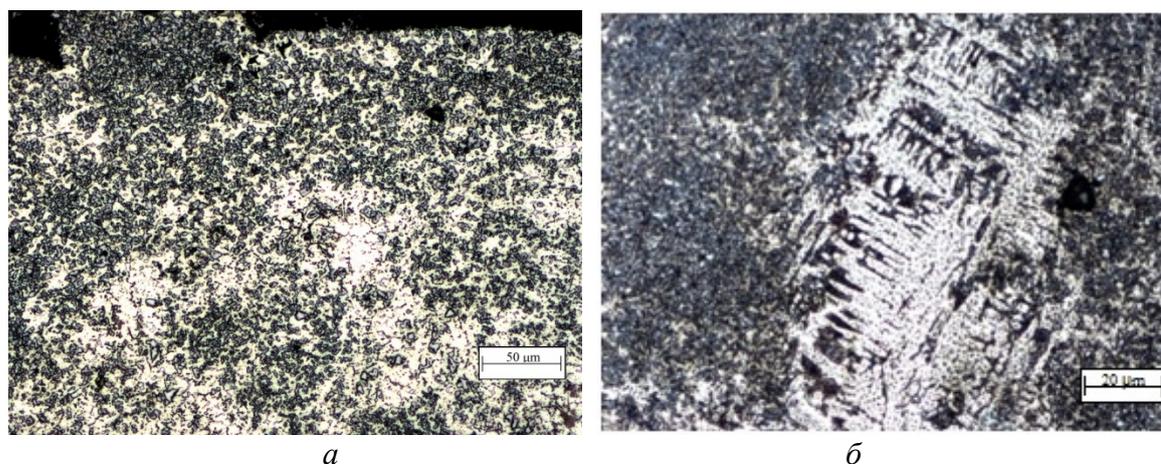


Рис. 2. Структура поверхностного слоя, сформированного при токе наплавки $I = 22$ мА: а – распределение упрочняющих частиц; б – участки, обедненные упрочняющей фазой.

Износостойкость наплавленных покрытий в 1,5-2 раза превышает износостойкость основного материала. Исследования показали, что при электронно-лучевой обработке с током пучка $I=23$ мА и $I=24$ мА, сформированные покрытия обладают наибольшими значениям износостойкости $\varepsilon \approx 1,82$ (рис. 3). Это связано с высокой концентрацией упрочняющих частиц TiC в поверхностных слоях упрочненного слоя.

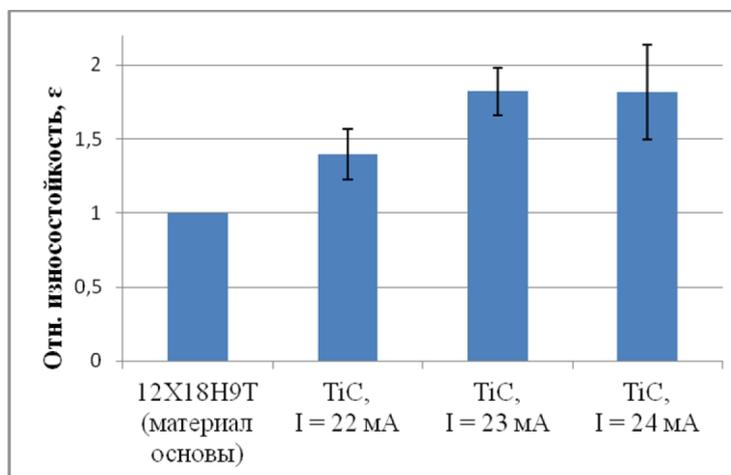


Рис. 3. Относительная износостойкость покрытий, сформированных в процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Выводы

Электронный луч, выведенный в воздушную атмосферу, позволяет с высокой скоростью формировать на поверхности аустенитной хромоникелевой стали покрытия глубиной до 1,6 мм с повышенным содержанием высокопрочных карбидных включений. Модифицирование поверхностных слоев приводит к значительному повышению уровня микротвердости, который достигает $\sim 9,2$ ГПа. Основным структурным фактором, обеспечивающим повышение уровня твердости, и как следствие износостойкости покрытий, являются карбиды титана. В условиях трения о жестко закрепленные частицы абразива относительная износостойкость покрытий в 1,5-2 раза превышает износостойкость хромоникелевой стали 12X18H9T.

Список литературы

1. Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 216 с.
2. Солнцев Ю.П. Материаловедение: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
3. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. В 5 т. Т. 2: учебник для вузов / под общ.ред. В.П. Овчинникова. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 560 с.
4. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы / Шлямнев А.П. и др. – М.: Проммет-Сплав, 2008. – 336 с.

5. Карпович А.Н. Повышение эксплуатационных свойств поверхностных слоев хромистых, хромоникелевых и вольфрамомолибденовых сталей методом ионно-лучевого азотирования.: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. – Минск, 2017. – 204 с.
6. О возможности введения твердых тугоплавких частиц при получении трубной заготовки методом центробежного литья / А.Н. Анисеев, И.В. Чуманов, В.И. Чуманов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2009. – № 36 (169). – С. 24–27.
7. Структура и конструктивная прочность композиции основной металл-покрытие / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.В. Столбов, В.И. Синдеев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 294 с.
8. Тушинский Л.И. Структурная теория конструктивной прочности материалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 400 с.
9. Электронно-лучевая наплавка титан- и танталсодержащих порошковых смесей на образцы из стали 40х / Д.О. Муль и др. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 2. – С. 117–126.
10. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода. – [Германия]: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. – 318 с.
11. Структура и свойства после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита / Д.О. Муль, Е.А. Дробяз, И.К. Чакин, В.В. Самойленко, В.С. Ложкин, Р.А. Достовалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 3 (60). – С. 115–120.
12. Ленивецова О.Г. Поверхностное упрочнение титановых сплавов карбидными частицами с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09. – Новосибирск, 2014. – 202 с.
13. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing / I.A. Bataev, M.G. Golkovskii, A.A. Bataev, A.A. Losinskaya, R.A. Dostovalov, A.I. Popelyukh, E.A. Drobyaz // Surface & Coatings Technology. – 2014. – Vol. 242. – P. 164–169. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.038.
14. ГОСТ 17367–71. Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы. – Введ. 1972-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 8 с.
15. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – Введ. 1977-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 35 с.

SURFACE HARDENING OF 12X18H9T STEEL WITH TiC BY NON-VACUUM ELECTRON BEAM CLADDING

Drobyaz E.A., Ph.D. (Engineering), e-mail: ekaterina.drobyaz@yandex.ru

Bushueva E.G., Post-graduate Student, e-mail: dusias@mail.ru

Kuzin F.A., Master's Degree student, e-mail: kuzin_olimp@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The structure, microhardness and tribotechnical properties of coatings formed on the surface of 12X18H9T steel investigated. The method of non-vacuum electron beam cladding of powder mixtures containing titanium carbide was used. Metallographic studies have shown that coatings have thickness from 1.2 to 1.6 mm. The microhardness of the coating is up to 9.2 GPa. The increasing of material hardness deals with distribution of titanium carbide particles in the plastic austenite matrix. In tribological tests against fixed abrasive particles, the wear-resistance of the cladding layers was 1,5-2 times higher than the base material specimens. It is established that the precipitation of reinforcing particles improves the tribological properties of the coatings.

Keywords

12X18H9T steel, titanium carbide, electron beam cladding, surface hardening, wear resistance, abrasive wear

УДК 629.4

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРЫ ТРЕНИЯ
ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА**

А. М. МАРКОВ¹, доктор техн. наук, профессор
А. В. ГАБЕЦ², канд. техн. наук, директор по развитию
А. В. ИВАНОВ¹, аспирант
Д. А. ГАБЕЦ¹, аспирант
(¹АлтГТУ, г. Барнаул,
²ООО «АСЛЗ», г. Барнаул)

Иванов А. В. - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: d.lenya.ne@yandex.ru

Фрикционный узел является одним из основных рабочих элементов поглощающего аппарата. От качества его работы напрямую зависит надежность всего аппарата. Исследования, связанные с изучением работы процессов, протекающих в ходе взаимодействия деталей узла и режимных параметров, являются весьма актуальными. Процесс трения между телами сложен по многочисленным факторам, поэтому необходимо проводить ряд испытаний для конкретных материалов и условий работы. Были проведены трибологические исследования, изучен микрорельеф поверхности трения, а также измерены силовые показатели процесса работы пары трения фрикционного узла. Данная методика позволяет проанализировать характеристики пар трения применяемых в условиях трения скольжения, работающих при высоких удельных нагрузках и высоких скоростях скольжения. Установить зависимости влияния режимных параметров процесса трения на формирование поверхности и спрогнозировать жизненный цикл фрикционного узла.

Ключевые слова: Поглощающий аппарат, фрикционный узел, пара трения, трибологические исследования, микрорельеф поверхности

Введение

Фрикционный узел является одним из основных рабочих элементов поглощающего аппарата. Он принимает на себя большую часть вводимой энергии, путем ее рассеивания и перевода в тепло [1, 2]. От качества его работы напрямую зависит надежность всего аппарата. Повышение поглощающей способности фрикционного узла способствует увеличению энергоемкости всего аппарата [3, 4]. Поэтому исследования связанные с изучением работы процессов, протекающих в ходе взаимодействия деталей узла и режимных параметров, являются весьма актуальными. Так как процесс трения между телами сложен по многочисленным факторам, оказывающим прямое влияние на взаимодействие, то необходимо проводить ряд испытаний для конкретных материалов и условий работы [5]. Поэтому были проведены трибологические исследования, изучен микрорельеф поверхности трения, а также измерены силовые показатели процесса работы пары трения фрикционного узла поглощающего аппарата ПМКП-110. Фрикционный узел является одним из основных рабочих элементов поглощающего аппарата. Он принимает на себя большую часть вводимой энергии, путем ее рассеивания и перевода в тепло [1, 2]. От качества его работы напрямую зависит надежность всего аппарата. Повышение поглощающей способности фрикционного

узла способствует увеличению энергоемкости всего аппарата [3, 4]. Поэтому исследования связанные с изучением работы процессов, протекающих в ходе взаимодействия деталей узла и режимных параметров, являются весьма актуальными. Так как процесс трения между телами сложен по многочисленным факторам, оказывающим прямое влияние на взаимодействие, то необходимо проводить ряд испытаний для конкретных материалов и условий работы [5]. Поэтому были проведены трибологические исследования, изучен микрорельеф поверхности трения, а также измерены силовые показатели процесса работы пары трения фрикционного узла поглощающего аппарата ПМКП-110.

Методика экспериментального исследования

Исследование трибологических характеристик и силовых показателей производили на машине трения ИИ 5018 (рис. 1), по схеме диск - пластинка. Данная схема позволяет провести экспресс – анализ и реализовать условия трения скольжения, которые схожи условиям работы фрикционного узла. Технические возможности данной машины позволяют измерять необходимые для дальнейшего анализа показатели: сила прижатия, момент трения, коэффициента трения, скорости скольжения, пройденный путь. Массив данных выводится в числовом значении в виде графика и таблицы. Испытания проводят в соответствии с рекомендациями ГОСТ 30480-97 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость», ГОСТ 23.204-78 «Обеспечение износостойкости изделий [6, 7]. Метод оценки истирающей способности при трении» и технических условий на проведение испытаний на машине трения ИИ 5018 [8].



Рис. 1. Машина трения ИИ 5018

Фрикционный узел поглощающего аппарата состоит из клина и фрикционной пластины. В качестве пары трения в основном применяют легированную сталь марки 38 ХС и металлокерамический фрикционный материал, который изготавливают в виде брикета и впоследствии припекают к металлической пластине [9]. Металлокерамический фрикционный материал состоит из следующей композиции: 3,5-4,5% графита, 4,5-6,5% олова, 4-6% свинца, 1,5-3% дисульфида молибдена, 1,5-2,5% диоксида кремния и железного порошка [10, 11]. Данное сочетание пары трения позволяет добиться высокой износостойкости при высокой стабильности коэффициента трения и его показателей в пределах 0,3-0,4 [12].

Для проведения данных испытаний были подготовлены пары образцов в количестве двенадцати штук. Диск (рис. 2), имитирующий работу клина, был изготовлен из материала Сталь 38 ХС. Пластина (рис. 3), имитирующая работу фрикционной пластины, была

изготовлена из металлокерамики приведенного состава. Твердость диска составляет 50HRC. Твердость пластинки 143HV.

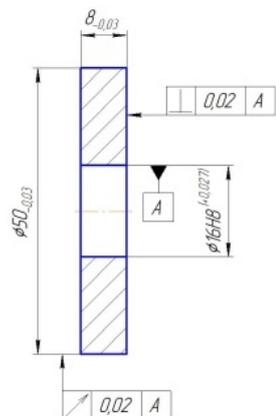


Рис. 2. Чертеж диска

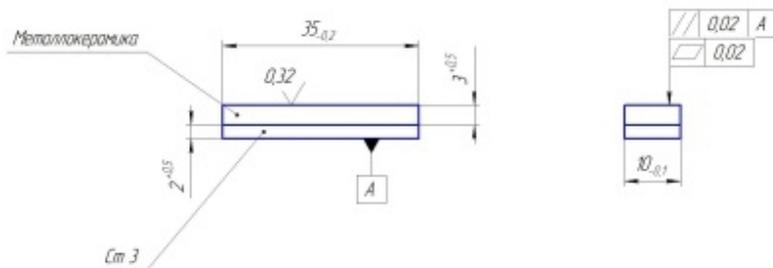


Рис. 3. Чертеж пластинки

Данные испытания проводились в режиме сухого трения, без дополнительных смазывающих компонентов, при комнатной температуре. Техника проведения испытаний заключается в следующем: к вращающемуся диску с частотой вращения n прижимается пластинка с усилием N . В процессе данного взаимодействия снимаются силовые и трибологические показатели, фиксируемые датчиками, значения которых обрабатывается микропроцессором и выводятся на экран монитора.

Результаты и обсуждение

Первая партия образцов испытывалась с постоянной частотой вращения 50 об/мин и изменением силы прижатия N . Сила прижатия изменялась через каждую минуту с шагом 100 Н. При этом фиксировались значения коэффициента трения и момента трения.

В результате были получены зависимости коэффициента (рис. 4) и момента трения (рис. 5) от силы прижатия. Проанализировав полученные данные можно говорить о том, что коэффициент трения не зависит от силы прижатия, тогда как момент трения имеет зависимость от силы прижатия.

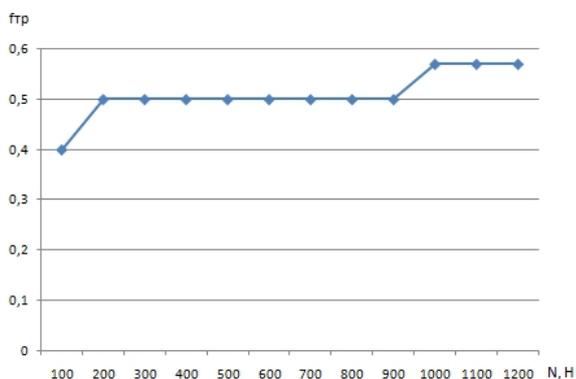


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от силы прижатия (аппроксимированный график)

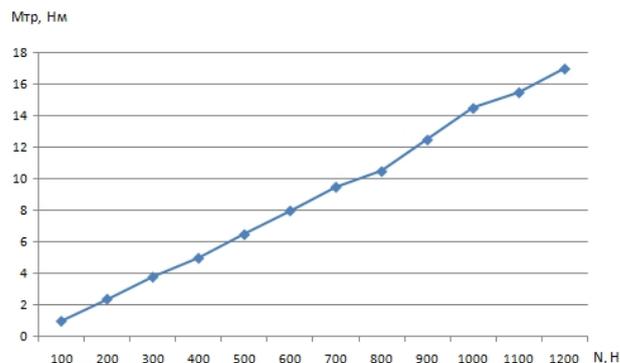


Рис. 5. Зависимость момента трения от силы прижатия (аппроксимированный график)

Вторая, третья и четвертая партия образцов испытывалась с постоянной силой прижатия 300 Н, 500 Н, 700 Н соответственно, и изменением частоты вращения через каждую минуту с шагом 50-100 об/мин до значения 500 об/мин, с последующим уменьшением частоты вращения до значения 50 об/мин. При этом происходила фиксация значений коэффициента трения. В результате были получены зависимости коэффициента трения от частоты вращения (рис. 6,7,8).

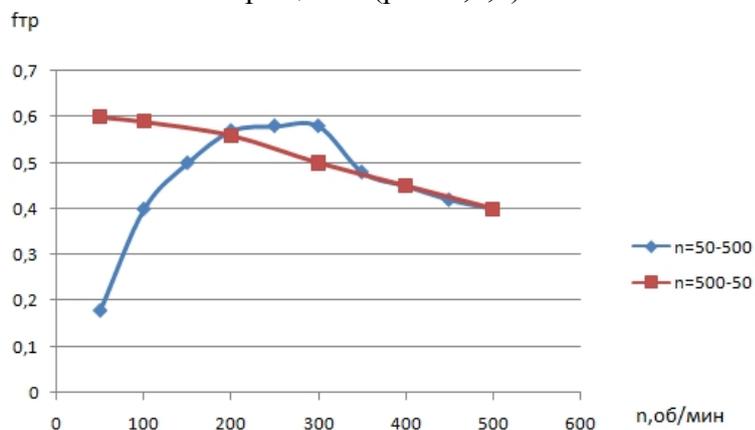


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения от частоты вращения, сила прижатия $N=300\text{Н}$ (аппроксимированный график)

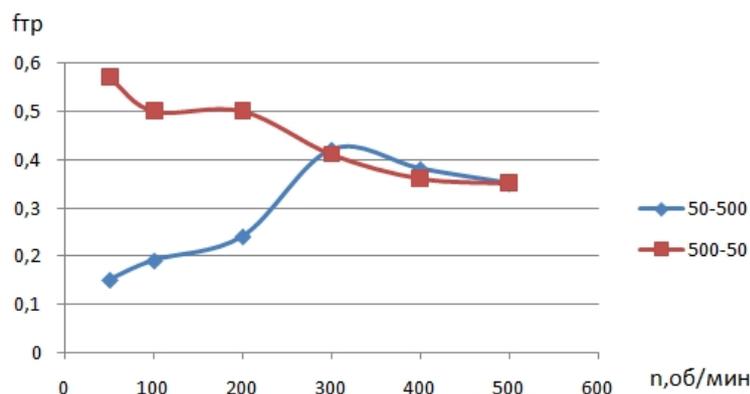


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения от частоты вращения, сила прижатия $N=500\text{Н}$ (аппроксимированный график)

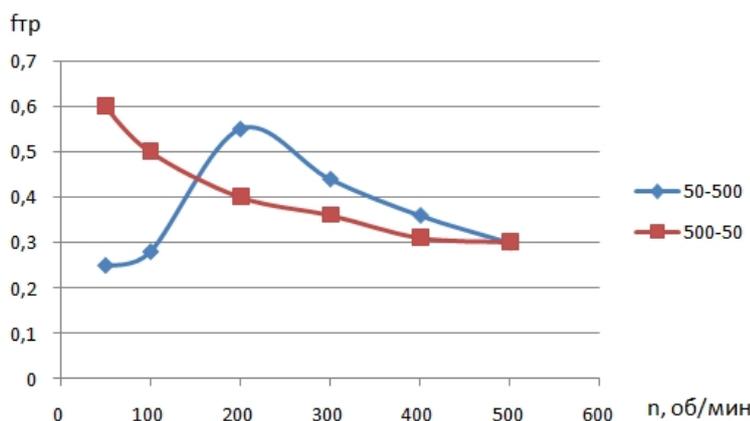


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения от частоты вращения, сила прижатия $N=700\text{Н}$ (аппроксимированный график)

Из графиков можно видеть то, что на начальном этапе происходит приработка поверхностей, о чем свидетельствует невысокое значение коэффициента трения. На коэффициент трения площадь контакта не оказывает влияние, однако, вследствие недостаточной прочности композита, происходит разрушение пятен контакта и, как следствие, снижение коэффициента трения. Это происходит до тех пор, пока не образуется достаточно прочная площадка контакта, которая может выдержать данную нагрузку (рис. 9,10). После чего происходит повышение коэффициента трения. Данный участок является оптимальным с точки зрения поглощающей способности материала, стабильности

коэффициента трения и износостойкости. Дальнейшее увеличение частоты вращения приводит к снижению коэффициента трения. Это связано с перегревом поверхности трения и расплавлением таких компонентов, входящих в композицию как олово и свинец. Данный процесс позволяет повысить износостойкость материала, однако, снижает его поглощающую способность. Снижение частоты вращения приводит к остыванию поверхности контакта и, как следствие, к повышению коэффициента трения. Однако его значения значительно выше участка приработки, несмотря на то, что температура в начале процесса ниже. Поэтому можно сказать о том, что на начальном этапе происходило формирование пятна контакта, а в конце процесса уже происходит образование рабочего слоя с высокими характеристиками процесса [13].



Рис. 9. Образец диска

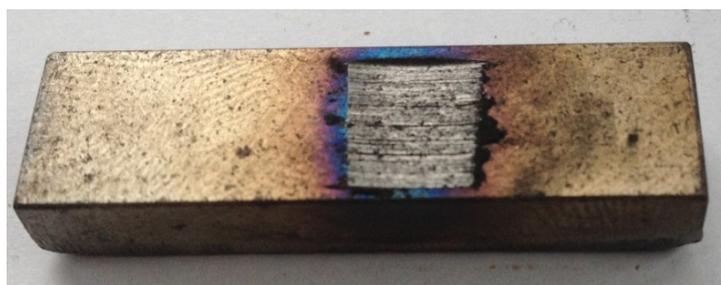


Рис. 10. Образец пластинки

Изучение микрорельефа рабочей поверхности после проведения испытаний проводили на профилометре Hommelwerke waveline 20 (рис. 11). Данные исследования позволяют оценить зависимость коэффициента трения от шероховатости поверхности. В первом случае при силе в 300 Н шероховатость равна 1,7 мкм, во втором при силе в 500 Н шероховатость равна 1,9 мкм, в третьем случае при силе в 700 Н шероховатость равна 2,7 мкм (рис. 12).

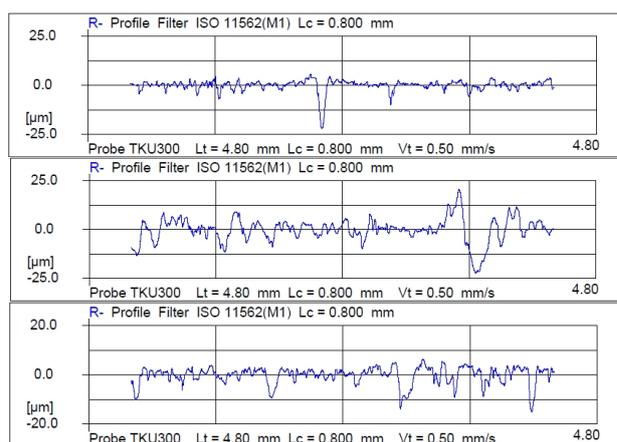
Рис. 11. Профилометр
Hommelwerke waveline 20

Рис. 12. Профилограмма поверхности

Рассмотрев показатели коэффициента трения, шероховатости и силы прижатия для каждого эксперимента, можно сказать о том, что с увеличением нагрузки происходит увеличение коэффициента трения. Это происходит за счет увеличения шероховатости поверхности путем адгезии между поверхностями и выкрашивания компонентов входящих в

композицию металлокерамического материала. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что при высоких нагрузках не происходит образования стабильного рабочего слоя, он быстро разрушается, тем самым появляется высокий износ материала.

Выводы

Проанализировав результаты исследований, можно сделать вывод о том, что данное сочетание материалов позволяет корректно работать поглощающему аппарату в условиях невысокой интенсивности и при небольших ударных нагрузках, однако, с повышением значения нагрузок, происходит резкое снижение поглощающих свойств материала, и как следствие энергоемкости всего аппарата. Поэтому исследования связанные с поиском высокоэффективных пар трения являются актуальными и перспективными.

Данная методика позволяет проанализировать характеристики пар трения, применяемых в условиях трения скольжения, работающих при высоких удельных нагрузках и высоких скоростях скольжения. Также установить зависимости влияния режимных параметров процесса трения на формирование поверхности трения, в частности на микрорельеф. Спрогнозировать жизненный цикл фрикционного узла: приработку поверхностей, образование рабочего слоя, а также зону интенсивного износа.

Список литературы

1. Вагоны: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский, Е.Н. Никольский, В.Н. Котуранов, П.Г. Проскурнев, Г.А. Казанский, А.Л. Спиваковский, В.Ф. Девятков; под ред. Л.А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
2. *Беляев В.И., Ступин Д.А.* Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава. – М.: Трансинфо, 2012. – 415 с.
3. ГОСТ 22253–76. Аппараты поглощающие пружинно-фрикционные для подвижного состава железнодорожных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. – Введ. 78-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 10 с.
4. ОСТ 32.175–2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования. – Введ. 2001-07-16. – М.: МПС России. – 11 с.
5. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника. Пособие для конструктора: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1999. – 358 с.
6. Справочник по триботехнике: в 2 т. / под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989.
7. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
8. Определение износостойкости материалов на машине трения ИИ 5018: методические указания к лабораторной работе по курсу «Износостойкие материалы и покрытия» для механико-технологического факультета / Новосибирский государственный технический университет; сост. А.И. Попелюх. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015.
9. Оценка работы фрикционного узла поглощающего аппарата / А.М. Марков, А.В.

Габец, А.В. Иванов, Д.А. Габец // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. –Т. 4, № 4. – С. 57–62.

10. Патент 2034086 Российская Федерация, МПК 6 С 22 С 33/02. Порошковый фрикционный сплав на основе железа / Б.Г. Кеглин, В.П. Мигунов, Н.И. Добрострой, Т.Н. Прилепо, В.В. Ионов, А.П. Болдырев. – Оpubл. 30.04.1995, Бюл. № 12.

11. Патент 2356983 Российская Федерация, МПК 6 С 22 С 33/02. Порошковый фрикционный сплав на основе железа / Б.Г. Кеглин, А.П. Болдырев, Т.Н. Прилепо, В.П. Мигунов, А.М. Гуров. м Оpubл. 27.05.09, Бюл. № 15.

12. *Кеглин Б.Г., Болдырев А.П., Ионов В.В.* Совершенствование металлокерамического сплава для амортизаторов удара железнодорожного подвижного состава // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – № 2 (34). – С. 26–32.

13. Исследование характера износа металлокерамического фрикционного материала узла трения поглощающего аппарата / А.М. Марков, А.В. Габец, А.В. Иванов, Д.А. Габец // Инновации в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции / под ред. Х.М. Рахмянова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 592 с.

METHODS OF RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF FRICTION PAIR OF THE FRICTION UNIT DRAFT GEAR

Markov A. M.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Gabets A.V.², Ph.D. (Engineering), Development director, e-mail: gabets22@gmail.com

Ivanov A. V.¹, Post-graduate Student, e-mail: d.lenya.ne@yandex.ru

Gabets D. A.¹, Post- Post-graduate Student, -mail: gabets22@mail.ru

¹ I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

² Ltd «Altai steel casting factory» (ASCF), 116/52 Kalinina avenue, Barnaul, Altai region, 656037, Russian Federation

Abstract

Friction unit is one of the main working elements of the draft gear. Reliability depends of the draft gear on the quality of its work. The study of the interaction of the details of the unit and the mode parameters are relevant researches. The friction process is complicated by numerous factors. It is necessary to carry out tests for specific materials and working conditions. Tribological researches are carried out, the microrelief of the friction surface was studied, the force parameters of the friction pair of the friction unit were measured. This technique allows to analyze the characteristics of friction pairs used in sliding friction conditions, operating at high specific loads and high sliding speeds. To establish the dependences of the influence of the regime parameters of the friction process on the surface formation and to predict the life cycle of the friction unit.

Keywords

Draft gear, friction unit, friction pair, tribological researches, surface microrelief

УДК 621.922.3: 621.922.025

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ОРИЕНТАЦИИ ЗЕРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ***А.Н. КОРОТКОВ, доктор техн. наук, профессор,
(КузГТУ, г. Кемерово)***Коротков А.Н.** – 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя 28
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва,
e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Шлифовальные инструменты лишь частично используют свои потенциальные режущие возможности. Не все зёрна в инструментах активно участвуют в совокупном процессе резания. Каждое зерно имеет свою произвольную форму и хаотичное расположение в теле инструментов, что намного снижает их работоспособность. Предложен новый класс инструментов и технология их изготовления, в которых контролируется форма и ориентация используемых зёрен. Выбор определенной формы зёрен достигается путем сепарации исходной абразивной массы вибрационным способом. Ориентация зёрен обеспечивается за счет применения электростатического эффекта, регулирующего положение зёрен в инструменте.

Изготовлены опытные партии шлифовальных кругов (отрезных, обдирочных, лепестковых), а также шлифовальные шкурки и ленты с контролируемой формой и ориентацией зёрен. Инструменты испытаны в работе и показали существенные преимущества по сравнению со стандартными инструментами.

Ключевые слова: форма зёрен, ориентация зёрен, контроль формы и ориентации зёрен, отрезные, обдирочные, лепестковые круги, шлифовальные ленты и шкурки, сравнительные испытания

Введение

Режущими элементами шлифовальных инструментов являются отдельные зёрна, расположенные на рабочей поверхности инструментов. От эффективности работы каждого зерна зависит работоспособность инструментов в целом. Между тем установлено, что далеко не все зёрна активно участвуют в совокупном процессе резания. Многие из них, из-за неблагоприятной геометрии, деформируют и нагревают металл без срезания стружки, под действием усилий резания раскалываются и вылетают из связки [1 - 6]. Геометрия зёрен определяется двумя факторами – их формой и расположением в теле инструмента.

Форма зёрен в стандартных инструментах меняется в широком диапазоне – от изометрических до пластинчатых разновидностей и это непосредственно накладывает отпечаток на геометрию, образуемого ими режущих клиньев [7]. Для выделения из общей массы абразива шлифовальных зёрен с определенной формой целесообразно использовать вибрационный способ, основанный на скатывании зёрен с наклонной вибрирующей деки, задающей им разные траектории движения [8].

Ориентация зёрен в шлифовальных инструментах может быть достигнута за счет перемещения их в электростатическом поле, разворачивающим зерна острыми кромками в сторону электродов [9].

Целенаправленное варьирование одним или одновременно двумя факторами (формой и ориентацией зёрен) позволяет создать новый класс инструментов с повышенными эксплуатационными показателями.

Для реализации поставленной цели разработаны технологии по изготовлению опытных инструментов с контролируемой формой и ориентацией зёрен. Изготовлены опытные партии экспериментальных шлифовальных инструментов, которые прошли сравнительные испытания и продемонстрировали более высокие эксплуатационные возможности, чем стандартные инструменты.

Методики экспериментальных исследований

Вибрационный способ сепарации абразивной массы по признаку формы выбран в данных исследованиях в связи с его высокой избирательностью и точностью разделения. Таким способом можно разделить зёрна на 10-14 фракций с разной формой и затем отыскать наиболее оптимальную форму для данного инструмента и вида шлифования. Контроль формы зёрен осуществлялся с помощью специального программного обеспечения [10], с использованием микроскопа и сканера. Идентификация формы зёрен проводилась численным методом на основе использования коэффициента формы, равного отношению вписанных и описанных диаметров окружностей на плоской проекции зерна или отношению диаметров вписанных и описанных сфер в объёмной проекции зерна.

Электростатический способ ориентации зёрен осуществлялся на специальной установке, с концентрическим, радиальным и наклонным расположением электродов. Благодаря этому, зёрна укладывались в теле шлифовальных кругов параллельно плоскости резания, перпендикулярно либо наклонно к ней. Для шлифовальных шкур, лент и лепестковых кругов ориентация зёрен на тканевую или бумажную основу производилась также с помощью специальных установок и путем использования электростатического поля [11, 12].

Технологии изготовления экспериментальных инструментов включали в себя технологические операции, аналогичные стандартным инструментам, за исключением добавления операций по выделению зёрен определенной формы и целенаправленному наклону зёрен в инструментах. Для реализации данных технологий разработан и подобран комплекс специальных приборов, устройств и оборудования. В том числе: смеситель (для приготовления смеси зёрен со связкой) [13], гидропресс (для формования шлифовальных кругов), электропечь (для термообработки кругов), компактная линия для изготовления шлифовальных шкур, термокамера для сушки шлифовальных шкур.

Изготовлены опытные партии экспериментальных шлифовальных кругов и лент, которые прошли сравнительные испытания со стандартными шлифовальными инструментами. Результаты испытаний представлены ниже и они показывают ряд преимуществ опытных инструментов по сравнению со стандартными [14 - 16].

Результаты и обсуждение

В ходе проведения сравнительных испытаний отрезных шлифовальных кругов установлено, что:

- использование зёрен игольчато-пластинчатых разновидностей даёт по сравнению со стандартными кругами повышение режущей способности на 17% и снижению теплонапряженности процесса резания на 9 – 18 °С;

- отрезные круги из изометрических зёрен обладают более высокой стойкостью и более высоким (на 42%) коэффициентом шлифования;
- круги с радиальной ориентацией зёрен обладают на 14 – 17 % большей режущей способностью и имеют более низкую (на 20-30 °С) температуру прогрева заготовок;
- круги с тангенциальной ориентацией зёрен имеют более высокий (на 25-30 %) коэффициент шлифования и при работе потребляют на 5 -17% меньшую эффективную мощность;

Обдирочные шлифовальные круги с контролируемой формой в ходе испытаний показали, что:

- использование зёрен игольчатой формы по сравнению со стандартными кругами позволяет повысить режущую способность в 1,11 – 1,21 раза;
- снизить температуру резания в 1,07 – 1,1 раза и предотвратить появление прижогов;
- при использовании в обдирочных кругах изометрических зёрен становится возможным снизить интенсивность их износа в 1,3 – 1,52 раза и повысить коэффициент шлифования в 1,05 – 1,22 раза;

Испытания шлифовальных лент с контролируемой формой и ориентацией зёрен показали, что:

- использование лент из зёрен пластинчатой формы, наклоненных относительно основы под углом 75°, повышает режущую способность по отношению к стандартной ленте в среднем на 35%;
- применение в конструкции лент зёрен изометрической формы позволяет уменьшить износ инструментов на 35%, а шероховатость обработанной поверхности на 17%.

Лепестковые круги из зёрен с контролируемой формой и ориентацией зёрен:

- повышают режущую способность по отношению к стандартным инструментам в среднем в 1,22 раза;
- применение в структуре лепестковых кругов зёрен изометрической формы позволяет уменьшить износ инструментов и снизить шероховатость обрабатываемых поверхностей в 1,3 раза.

Выводы

1. Форма и ориентация зёрен существенно влияют на работоспособность шлифовальных инструментов. В стандартных инструментах, состоящих из зёрен с произвольной формой и хаотичным расположением, лишь небольшая часть зёрен активно участвует в процессе резания. Это обуславливает относительно низкой эффект использования таких инструментов.

2. Целенаправленное контролирование формы и ориентации зёрен позволяет значительно повысить их коэффициент полезного действия в шлифовальных инструментах на основе формирования благоприятной геометрии их режущих микроклиньев.

3. Разработаны конструкции экспериментальных инструментов, состоящих из зёрен с контролируемой формой и ориентацией и разработаны технологии по их изготовлению, отличающиеся от типовых технологий наличием двух дополнительных операций – сортировке зёрен по форме и ориентированию их в инструменте.

4. Экспериментальные конструкции инструментов прошли сравнительные испытания со стандартными инструментами, в ходе которых подтвердили ряд своих эксплуатационных преимуществ.

5. Следует дифференцированно подходить к выбору формы и ориентации зёрен в инструментах. Для каждого инструмента, случая шлифования и требуемых результатов

обработки необходимо выбирать то или иное расположение зёрен и их ориентацию для достижения максимального эффекта шлифования.

Список литературы

1. *Зайцев А.Г.* Влияние расположения алмазных зерен на процесс шлифования твердых сплавов // Вестник машиностроения. – 1977. – № 8. – С. 71–72.
2. *Korotkov A.N., Korotkova L.P., Gubaidulina R.H.* Effect on grains form on performances grinding wheels // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – P. 469–473.
3. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
4. *Degner W., Lutze H., Smejkal E.* Spanende formung: theorie, berechnung, richtwerteю – Muenchen; Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.
5. *Lal G., Shaw M.* Influence of the radius at the top of the abrasive grains on the process of pure grinding // Design and Engineering Technology. Works of American union of engineers. – 1975. – Vol. 97.
6. *Кожевников Д.В., Курсанов С.В.* Металлорежущие инструменты. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 390 с.
7. *Lukshin V.* Evaluation of abrasive grain form // Applied Mechanics and Materials – 2014. – Vol. 682. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.682.148. eid=2-s2.0-84921879064.
8. Патент 2236303 Российская Федерация, МПК 7 В 03 С 7/08. Устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме / А.Н. Коротков, С.А. Костенков, В.С. Люкшин, Н.В. Прокаев. – № 2003113373; заявл. 20.09.2007; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 26.
9. Патент 2369474 Российская Федерация, МПК 7 В 24 Д 18/00. Способ изготовления шлифовальных кругов с ориентированными зернами / В.А. Коротков. – Опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2006610153. Форма шлифовальных зерен / А.Н. Коротков, Г.М. Рылов. – № 2005612738; заявл. 25.10.2005; опубл. 10.01.2006.
11. *Korotkov A., Shatko D.* Prospective designs of flap grinding wheels – new opportunities and approaches to import substitution of grinding tools // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.313.
12. *Lukshin V., Barsuk A., Fazleev R.* Cutting capacity and strength of single grinding grains // Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – doi: 10.1088/1757-899X/91/1.WOS:000361836000047.
13. Патент 2221632 Российская Федерация, МПК 7 В 01 F 9/12, В 28 С 5/32. Смесительная установка для приготовления абразивных масс / А.Н. Коротков, Д.Б. Шатько. – № 2002132579; заявл. 04.12.2002; опубл. 20.01.2004, Бюл. № 2.
14. Werkzeuge. Fachkatalog. – Berlin: Verlag, 1992.
15. *Korotkov V.A., Minkin E.M.* Forecasting of operational indicators of grinding tools with the controlled form and orientation of abrasive grains // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – P. 118–122.
16. *Korotkov V.A., Petrushin S.I.* Research of operational characterizations of cutting discs with oriented abrasive grains // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – P. 224–230. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.682.224.

THE INFLUENCE OF THE SHAPE AND GRAIN ORIENTATION PERFORMANCE GRINDING TOOLS

Korotkov A.N., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 28 Vesennaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

Grinding tools only partially utilize their potential cutting capabilities. Not all grains in the tools are actively involved in the overall cutting process. Each grain has its own arbitrary shape and chaotic location in the body of tools, which greatly reduces their performance. A new class of tools and technology for their production, which controls the shape and orientation of the grains used. The choice of a particular form of the grains is achieved by the separation of the source of abrasive mass vibration method. Grain orientation is ensured by applying an electrostatic effect that regulates the position of the grains in the instrument.

Made an experimental batch grinding wheels (cutting, grinding, flap), as well as coated abrasives and tapes with controlled shape and orientation of grains. The tools are tested in the work and showed significant advantages compared to standard tools.

Keywords

shape of grains, orientation of grains, control of the shape and grain orientation, cutting, grinding, flap wheels, grinding tape and sandpaper, comparative tests

2.

6.2.

6.3.

7.

« ».

PowerPoint.

8.

9.

«
[building/rules](https://journals.nstu.ru/machine-building/rules) .

»

<https://journals.nstu.ru/machine->

(50 %, 15 30

–

);

(References) –

(

).

«

»

2313-1020; Online ISSN: 2542-1093) : <http://journals.nstu.ru/machine-building-eLIBRARY>. <http://machine-building.conf.nstu.ru/>.
(« »). ()
: <http://journals.nstu.ru/machine-building/registration>
! « (»),
« »

» MS Word *.doc, *.docx. () «
() (300 dpi)
« » *.pdf, *.jpg, *.jpeg. «
« » « »
() « ».
, (. . .), , , ;
(, , , e-mail. e-mail: metal_working@mail.ru,
« »
« » (<http://machine-building.conf.nstu.ru/archive/>),
: 630073, . , 20,
(), .5, .137 , . . .

(<http://journals.nstu.ru/machine-building/rules>)
Microsoft Word; 4 (210×297); –
, 2 ; ; *Times New Roman*, – 14 , 1
, – 1,25 , , , ,
().

Microsoft Equation 3.0.

: 60 × 150, 60 × 70 7.05-2008 « 300 dpi. »,
, [1], [2, 3], [4–7], [4, . 23–28]. ; . . . ()
Abstract) 100-150 ; (*Keywords*).

1. (;).
2. : 7.9-95 – (10 , 850), ; ; 100 - 250 ,
3. (()).
4. (;
5. () ()
6. (, ,)
7. (;)
8. : 15 – 25 (7.05-2008 « »).
9. [1], [2, 3], [4–7], [4, . 23–28]. 30 % (50 %)
10. ()

(Title),

(Affiliation).

(e-mail), [()]

(Abstract) -

100 - 250

(Keywords);

(Funding) (,)

!

« (• •)»

A ,

« (• •

Web of

Science

(Abstract)

(References),

Scopus Web of Science.

Abstract

References

- 6) (unpublished), “Unpublished Report” . . . , (,), “Unpublished Source” ;
- 7) , ;
- 8) doi, , References,
- “ - ”;
- 9) .
- 10) , (: , , ; : -)) , (, ;
- 11) , .
- 12) (,) “pp.” ;
- () - “p.” ;
- 13) ;
- 14) , ;
- 15) ; (- References) , ;
- 16) , “ - ” ;

: <http://translit.net/>

Translit.net,

BSI (British Standard Institute),

« »

« ».

Atapin V.G., Skeebea V.Yu. Chislennoe modelirovanie beskarkasnykh arochnykh pokrytii [Numerical simulation of frameless arched covers]. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4(57), pp. 23–27.

Kiselev E.S., Unyanin A.N., Kurzanova Z.S., Kuznetsova M.A. Sovremennye smazочно-okhlazhdayushchie zhidkosti [Modern coolants]. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*, 1996, no. 7, pp. 30-34.

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer- Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

DOI –

!

c DOI:

Abul’khanov S.R., Goryainov D.S., Skuratov D.L., Shvetsov A.N. Formation of the surface layer in diamond smoothing. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, iss. 2, pp. 147-149. doi: 10.3103/S1068798X15020033

Ding H.T., Shin Y.C. Laser-assisted machining of hardened steel parts with surface integrity analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2010, vol. 50, iss. 1, pp. 106-114. doi:10.1016/j.ijmactools.2009.09.001

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. [Experimental study of the strength of joints "steelcomposite"]. *Trudy MGTU «Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem»* [Proceedings of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130. (In Russian)

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalina I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol’zovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proceedings 6th International

Symposium “New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact”. Moscow, 2007, pp. 267–272. (In Russian).

Sen'kin A.V. [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernykh issledovaniyakh. Trudy 33 nauchnoi konferentsii RUDN* [Problems of the Theory and Practice of Engineering Research. Proc. Russ. Univ. People's Friendship 33rd Sci. Conf.]. Moscow, 1997, pp. 223-225. (In Russian)

();
Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Ot katastrofy k vozrozhdeniyu: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR [From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Lindorf L.S., Mamikonians L.G., eds. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 352 p.

Kanevskaya R.D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development]. Izhevsk, 2002. 140 p.

Izvekov V.I., Serikhin N.A., Abramov A.I. *Proektirovanie turbogeneratorov* [Design of turbo-generators]. Moscow, MEI Publ., 2005, 440 p.

Latyshev V.N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ. Publ., 2009. 245 p.

Belousov, A.I., Bobrik, P.I., Rakhman_Zade, A.Z. *Teplovye yavleniya i obrabatyvaemost' rezaniem aviatsionnykh materialov. Trudy MATI* [Thermal Phenomena and the Ease of Cutting of Aviation Materials: Proceedings of the Moscow Aviation Engineering Institute]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966, no. 64.

(),
(235 p.),
(pp. 220-222).

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Brooking A., Jones P., Cox F. *Expert systems. Principles and case studies*. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery*. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987. 224 p.).

(
)

Latypov A.R., Khasanov M.M., Baikov V.A. Geology and Production (NGT GiD). The Certificate on official registration of the computer program. No. 2004611198, 2004. (In Russian, unpublished).

Pressure generator GD-2M. Technical description and user manual. Zagorsk, Res. Inst. of Appl. Chem. Publ., 1975. 15 p. (In Russian, unpublished).

Kondrat'ev V.B. *Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost'* [The global pharmaceutical industry]. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmatsevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html. (accessed 23.06.2013)

APA Style (2011). Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed 05.02.2011).

Semenov V.I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

Grigor'ev Iu.A. *Razrabotka nauchnykh osnov proektirovaniia arkhitektury raspredelennykh sistem obrabotki dannykh*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Development of scientific bases of architectural design of distributed data processing systems. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1996. 243 p.

GOST 8.586.5-2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkosti i gazov spomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv* [State Standard 8.586.5 - 2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian)

Palkin M.V., e.a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

References

(Inventor's Certificate) –

Russian Pharmaceutical Market. Results of 2010. The Analytical Review. DSM Group, 2011. 74 p. (In Russian)

Current status of the Russian pharmaceutical industry and international experience. Materials for the working group of the Commission for Modernization and Technological Development of Russia's Economy. Available at: <http://www.strategy.ru>. (In Russian)

Code of Business Conduct of OJSC "LUKOIL". Available at: http://www.lukoil.ru/materials/doc/documents/lukoil_corp_code.pdf. (In Russian)

RF Federal Law "On Protection of Consumers' Rights" of February 07, 1992 N 2300-1 (as amended by Federal Law of January 09, 1996 N 2 FZ, December 17, 1999 N 212 FZ). (In Russian)

15.03.2018. 60 × 84 1/8.
10 . - . 37,2. . 20,0. . 83. 470.

630073, . , . . , 20. . : (383)-346-31-87.

630073, . , . . , 20



Кафедры:

Инженерной графики (ИГ)
Материаловедения в машиностроении (ММ)
Проектирования технологических машин (ПТМ)
Технологии машиностроения (ТМС)
Химии и химической технологии (ХХТ)

Научная деятельность:

выполнение фундаментальных и прикладных исследований в области:

- создания новых материалов с уникальными свойствами;
- исследования структурных превращений в металлических материалах;
- технологий производства керамики и керамических композитов;
- исследования процесса образования водорода и нановолокнистого углерода каталитическим разложением углеводородов при давлениях выше атмосферного;
- исследования способов модификации углеродных нанотрубок и нановолокон;
- управления качеством поверхностного слоя деталей машин при интеграции поверхностной термической и механической обработки на одном технологическом оборудовании;
- технологий плазменного нанесения покрытий на детали машин;
- разработки технологических процессов лазерной и плазменной резки, поверхностной термообработки, сварки, маркировки, а также электрохимической и ультразвуковой обработки;
- разработки опытных образцов установок и модернизации существующего оборудования электрофизических методов обработки.

Производственная деятельность:

- содействие в конструкторско-технологической подготовке производства;
- проектирование технологических процессов;
- услуги по плазменной и лазерной резке материалов;
- услуги гибки листового и трубного проката;
- определение механических свойств, химического состава и структуры материалов;
- услуги механической, термической обработки материалов;
- проектирование и изготовление технологического оборудования с подготовкой требуемой конструкторской документации в NX, SolidWorks, AutoCAD, Компас;
- проведение инженерного анализа конструкторских задач и технологических процессов в программных комплексах ANSYS, SYSWELD, APM WinMachine для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях;
- услуги плазменного нанесения покрытий на детали машин;
- технологический аудит предприятий;
- установление причин разрушения деталей машин.

Образовательные услуги:

- курсы повышения квалификации и обучающие семинары для сотрудников предприятий;
- обучение работе на станках с ЧПУ, лазерных и плазменных комплексах.

Центры, лаборатории:

Учебный центр современных металлообрабатывающих технологий «DMG-НГТУ».
Научно-образовательный центр «Сварочные технологии» - «НГТУ- «Kjellberg Finsterwalde».
Научно-образовательный центр «Нанотехнологии».
Научно-образовательный центр «Лазерные и плазменные технологии».
Научно-образовательный центр в области машиностроения «НГТУ-ИТПМ СО РАН».
Учебно-научная лаборатория «Термическая обработка материалов».
Учебно-научная лаборатория «Плазменные покрытия».
Центр прототипирования.

Адрес:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корп. 5, НГТУ, МТФ, V-278.

Тел./факс: +7 (383) 346-51-92

Сайт факультета: <http://www.mtf.nstu.ru/>

e-mail: mtf@corp.nstu.ru

Декан МТФ: к.т.н., доцент **Янпольский Василий Васильевич**



ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ
ОБОРУДОВАНИЕ
ИНСТРУМЕНТЫ

ISSN 1994-6309 (Print)

ISSN 2541-819X (Online)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov
metal_working@mail.ru



Организатор международных
выставок и конференций



ITE Сибирь
В составе группы компаний ITE

<http://www.ite-siberia.ru/> welcome@sibfair.ru

mash
SIBERIA



Выставка оборудования
для металлообработки и сварки

Россия, Новосибирск

www.mashex-siberia.ru