ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

(Кузнечно-прессовое, литейное и другие производства)

№ 1 январь 2015

Председатель редакционного совета и Главный редактор
СЕМЁНОВ Е.И., д.т.н., проф.

Зам. председателя редакционного совета:
ДЁМИН В.А., д.т.н., проф.
КОЛЕСНИКОВ А.Г., д.т.н., проф.

Зам. Главного редактора
СЕРИКОВА Е.А.

Редакционный совет:
БЕЛЯКОВ А.И., к.т.н.
БЛАНТЕР М.С., д.ф.-м.н., проф.
БОГАТОВ А.А., д.т.н., проф.
ГАРИБОВ Г.С., д.т.н., проф.
ГРОМОВ В.Е., д.ф.-м.н., проф.
ГУН И.Г., д.т.н., проф.
ЕВСЮКОВ С.А., д.т.н., проф.
ЕРШОВ М.Ю., д.т.н., проф.
КАСАТКИН Н.И., к.т.н., проф.
КИДАЛОВ Н.А., д.т.н., проф.
КОРОТЧЕНКО А.Ю., к.т.н., доц.
КОТЕНОК В.И., д.т.н.
КОШЕЛЕВ О.С., д.т.н., проф.
КРУК А.Т., д.т.н., проф.
ЛАВРИНЕНКО В.Ю., к.т.н., доц.
МОРОЗ Б.С., д.т.н., проф.
МУРАТОВ В.С., д.т.н., проф.
НАЗАРЯН Э.А., д.т.н., проф.
ОВЧИННИКОВ В.В., д.т.н., проф.
ПОВАРОВА К.Б., д.т.н., проф.
ПОЛЕТАЕВ В.А., д.т.н., проф.
СЕМЁНОВ Б.И., д.т.н., проф.
СУБИЧ В.Н., д.т.н., проф.
ТРЕГУБОВ В.И., д.т.н., проф.
ШАТУЛЬСКИЙ А.А., д.т.н., проф.
ШЕРКУНОВ В.Г., д.т.н., проф.
ШЕСТАКОВ Н.А., д.т.н., проф.
ШПУНЬКИН Н.Ф., к.т.н., проф.
ЯКОВЛЕВ С.С., д.т.н., проф.
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М., д.т.н., проф.
БАСТ Ю., Dr.-Ing. habil., prof.
ТУТМАН Т., Dr.Yur.
ЭРКСЛЕБЕН С., Dr.-Ing.

Ответственный за подготовку и выпуск номера:
СЕРИКОВА Е.А.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу агентства "Роспечать" **81580**, по Объединенному каталогу "Пресса России" **39205**, по каталогу "Почта России" **60261**) или непосредственно в издательстве.

Тел.: (499) 268-47-19, 269-54-96
Факс: (499) 269 48 97
Http: //www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru, zpmpost@rambler.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

Федулова Ю.С., Изотов В.А., Акутин А.А. Комплексный подход к решению проблемы получения отливок из алюминиевых сплавов с применением дождевой литниковой системы . . . 3
Дриц А.М., Овчинников В.В., Пахомов Д.А. Свойства сварных соединений нагартованных плит сплава 1565ч . . . 8

Кузнечно-штамповочное производство

Хван А.Д., Хван Д.В., Крук В.А., Воропаев А.А. Изготовление цилиндрических поковок продольной осадкой . . . 13
Складчиков Е.Н., Панова И.А., Трух С.С. Предохранительное устройство для кривошипных горячештамповочных прессов . . . 18
Гецци Э., Евдокимова Л. Технологии и оборудование для накатки резьбы и профилей компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" . . . 24

Прокатно-волочильное производство

Перетятько В.Н., Сметанин С.В. Исследование напряженного состояния металла при прокатке в четырехвалковых разрезных калибрах . . . 28

Материаловедение и новые материалы

Пячин С.А., Бурков А.А. Формирование интерметаллидного покрытия электроискровым легированием алюминия титаном . . . 34
Решенкин А.С., Гончаров А.В., Тихомиров А.Г. Обоснование применения *SN*-распределения для анализа параметров микроструктуры конструкционных сталей . . . 38

Информация

Пожарский А.В., Кидалов Н.А., Гулевский В.А. Разработка универсальной камерной печи для термической обработки отливок, штамповок и поковок . . . 41
Международная научно-техническая конференция "Современные технологии и оборудование для холодной объемной штамповки" . . . 46

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

Журнал выходит при содействии:
Академии Проблем Качества Российской Федерации; Министерства образования и науки Российской Федерации; Воронежского завода тяжелых механических прессов; ЦНИИЧермет; ВНИИМЕТМАШ; ИМЕТ РАН; Каширского завода "Центролит"; АМУРМЕТМАШ; ООО "МЕТАЛЛИТМАШ"; ФГУП ГНПП "Сплав"

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Заготовительные производства в машиностроении", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

© Издательство "Машиностроение", "Заготовительные производства в машиностроении", 2015

SCIENTIFIC TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

BLANKING PRODUCTIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

(Forging and stamping, foundry and other productions)

№ 1 January 2015

Chairman of Editorial Committee and Editor-in-chief
SEMENOV E.I.

Chairman Assistants
DEMIN V.A.
KOLESNIKOV A.G.

Editorial Assistant
SERIKOVA E.A.

Editorial Committee
BELYAKOV A.I.
BLANTER M.S.
BOGATOV A.A.
GARIBOV G.S.
GROMOV V.E.
GUN I.G.
EVSYUKOV S.A.
ERSHOV M.Yu.
KASATKIN N.I.
KIDALOV N.A.
KOROTCHENKO A.Yu.
KOTENOK V.I.
KOSHELEV O.S.
KRUK A.T.
LAVRINENKO V.Yu.
MOROZ B.S.
MURATOV V.S.
NAZARYAN E.A.
OVCHINNIKOV V.V.
POVAROVA K.B.
POLETAEV V.A.
SEMENOV B.I.
SUBICH V.N.
TREGUBOV V.I.
SHATUL'SKY A.A.
SHERKUNOV V.G.
SHESTAKOV N.A.
SHPUN'KIN N.F.
YAKOVLEV S.S.
YAMPOL'SKY V.M.
BAST Yu.
TUTMANN T.
ERXLEBEN S.

This issue prepared with assistance of specialist:
SERIKOVA E.A.

An advertiser is responsible for the promotional materials

Journal is spreaded on a subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **81580**, on the united catalogue "Pressa Rossii" **39205**, catalogue "Pochta Rossii" **60261**) or immediately in the edition of the journal.

Ph.: (499) 268-47-19, 269-54-96
Fax: (499) 269-48-97
Http: //www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru, zpmpost@rambler.ru

CONTENTS

Foundry and Welding Productions

Fedulova Yu.S., Izotov V.A., Akutin A.A. Integrated approach to problem decision of aluminium-based alloys castings obtaining by pluvial gate system 3
Drits A.M., Ovchinnikov V.V., Pakhomov D.A. Properties of welded joints of cold-worked plates of alloy 1565ch. 8

Forging and Stamping Production

Khvan A.D., Khvan D.V., Kruk V.A., Voropaev A.A. Production of cylindrical forgings by longitudinal compression 13
Skladchikov E.N., Panova I.A., Trukh S.S. Safety device for crank hot-forging press 18
Ghezzi E., Evdokimova L. Technologies and equipment for thread and profile rolling of company "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions". 24

Rolling and Drawing Production

Peretyat'ko V.N., Smetanin S.V. Research of tension condition of metal due to rolling in four rollers cutting calibers 28

Physical Metallurgy and New Materials

Pyachin S.A., Burkov A.A. Formation of intermetallic coating using electrospark deposition of titanium onto aluminum. 34
Reshenkin A.S., Goncharov A.V., Tikhomirov A.G. Rationale for use of *SN*-distribution for analysis of microstructure parameters of structural steels 38

Information

Pozharsky A.V., Kidalov N.A., Gulevsky V.A. Developing of universal chamber furnace for heat treatment of castings, forgings and stampings 41
International scientific and technical conference "Modern technologies and equipment for cold forging on automatic machines" 46

Journal is included into the list of the Higher Examination Board for publishing of competitors for the academic degrees theses

Reprint is possible only with the reference to the journal Blanking productions in mechanical engineering"

© «Mashinostroenie Publishers», «Blanking productions in mechanical engineering», 2015

УДК 621.74.041

Ю.С. Федулова, В.А. Изотов, А.А. Акутин
(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева)

Комплексный подход к решению проблемы получения отливок из алюминиевых сплавов с применением дождевой литниковой системы

Предложены программы расчета на ЭВМ исполняемых размеров литниковых систем для получения отливок из алюминиевых сплавов. Программы позволяют автоматизировать процесс расчета исполняемых размеров, которые затем можно использовать в системах математического моделирования процессов формирования отливок на стадиях заполнения и затвердевания.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы; моделирование; автоматизация; дождевая литниковая система; программа расчета; комплексный подход.

The computer calculation programs to retrieve the executed sizes of gate for aluminium alloys castings production are proposed. The programs are allowed to automate the calculation process of the executed sizes that can use in mathematical systems of castings formation processes on the filling and solidification stage.

Keywords: aluminium alloys; modeling; automation; pluvial gating system; calculation program; integrated approach.

Технологический процесс получения литых заготовок на производстве чаще всего трудоемок, длителен и требует большого объема энергетических и материальных затрат. Поэтому проблема совершенствования технологических процессов, модернизации оборудования и автоматизации производства является актуальной.

В последнее время в литейном производстве широкое применение нашли программы математического моделирования литейных процессов, позволяющие моделировать процессы формирования отливок на стадиях заполнения и затвердевания при различных способах литья с учетом различных условий заливки, свойств формы и металла и многое другое. Однако системы автоматизированного моделирования (САМ) литейных процессов имеют и ряд недостатков, среди которых такие как: выбор типа литниковой системы, описание места подвода расплава в полости формы.

Выбор места подвода расплава осуществляется методом подбора в результате длительного процесса математического моделирования. При задании начальных условий расчета у пользователя возникает необходимость определения сечения падающей струи при вхождении ее в литейную воронку или чашу, а также скорости или расхода расплава на входе. Неточное задание сечения струи расплава может привести к изменению характеристик расхода, а следовательно, к изменению истинной картины заполнения, распределения температур в отливке и форме по окончании заливки, а значит, и к ошибкам при последующем решении задачи кристаллизации отливки.

Одним из недостатков некоторых САМ является также необходимость ввода пользователем различных коэффициентов пропорциональности, например, в уравнениях вязкости, и поправок для описания, например, характера течения расплава.

Долгий цикл от создания моделей отливки и формы до получения результатов моделирования, длительный процесс построения сетки, от которого во многом зависит качество последующего моделирования, — все это является существенными недостатками существующих систем математического моделирования литейных процессов. При этом вопросы выбора оптимальных режимов заполнения формы расплавом, определяющие основные параметры заливки: скорость подвода расплава в форму, температуру заливки и формы и размеры литниковой системы, решены слабо.

Поэтому применение систем автоматизированного моделирования литейных процессов не решает в полной мере задачу получения годной отливки, особенно из алюминиевых сплавов, так как эти сплавы обладают высокой теплопроводностью, малой удельной массой, высоким сродством к кислороду, что очень тяжело учитывать в математическом моделировании.

Таким образом, чтобы рационально применять программы математического моделирования литейных процессов при разработке технологического процесса получения отливок из алюминиевых сплавов, необходимо на начальном этапе выбрать тип литниковой системы, затем рассчитать ее исполняемые размеры и параметры литья. Полученные расчетные данные вводят в программу математического моделирования для дальнейшего расчета процесса формирования отливки на стадиях заполнения и затвердевания в целях выявления в отливке дефектов, возникающих на этих стадиях. По результатам моделирования в случае наличия газоусадочных дефектов принимают решение о необходимости установки и расчета прибылей.

Такой комплексный подход к решению проблемы получения годных отливок из алюминиевых сплавов позволит значительно сократить процесс математического моделирования литейных процессов, используя рассчитанные ранее исполняемые размеры литниковой системы и параметры заливки, т.е. позволит снизить затраты на технологическую подготовку производства.

Как правило, для получения отливок из алюминиевых сплавов используют в основном ярусную, вертикально-щелевую, нижнюю литниковые системы. Расчет исполняемых размеров этих литниковых систем автор [1] предлагает вести по методикам, основанным на расчете охлаждения фронта потока. Для протяженных тонкостенных корпусных отливок из алюминиевых сплавов можно применять дождевую литниковую систему. Она удобна в исполнении, легко удаляется при обрубке, требует минимального расхода расплава и обеспечивает рассредоточенный подвод расплава сверху в полость формы, направленное затвердевание отливки.

Для расчета дождевой литниковой системы для алюминиевых сплавов разработана методика расчета [2] исполняемых размеров дождевой литниковой системы, основанная на расчете минимально и максимально допустимых скоростей заполнения полостей литейных форм расплавом.

Методики расчета [1, 2] литниковых систем представляют собой последовательный алгоритм расчета параметров литья и исполняемых размеров литниковых систем, включают в себя громоздкие формулы и зависимости искомых величин от нескольких параметров. Поэтому авторами [3] разработаны программы расчета на ЭВМ исполняемых размеров литниковых систем, позволяющие автоматизировать процесс расчета и, таким образом, сократить время расчета.

Программы расчета представляют собой интерактивные приложения, позволяющие выполнить расчет исполняемых размеров дождевой и верхней литниковых систем для алюминиевых сплавов по введенным пользователем параметрам. Интерфейс приложений оконный, представлен пользователю в виде последовательности окон ввода информации. Приложения предусматривают защиту от некорректных пользовательских данных, включая в себя ошибки ввода, связанные с опечатками и нарушениями ограничений предметной области. Результатом расчета является вывод всех промежуточных переменных и отдельные выводы результирующих переменных расчета. В основе программ лежат алгоритмы [1, 2] и методики расчета исполняемых размеров литниковых систем.

Применим комплексный подход для получения отливки «крышка» из алюминиевого сплава. Отливку «крышка» (рис. 1) из сплава АК12 с га-

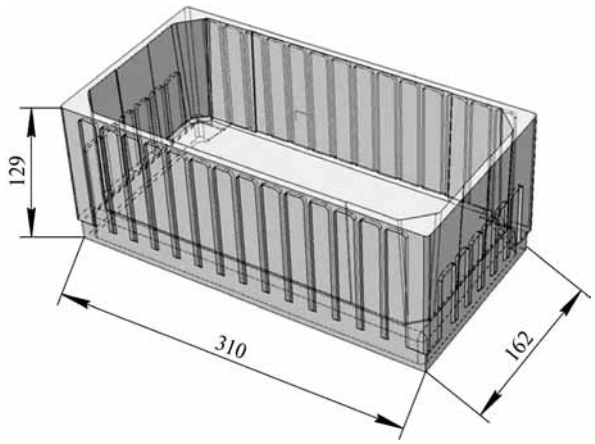


Рис. 1. 3D-модель отливки «крышка» массой 2,4 кг

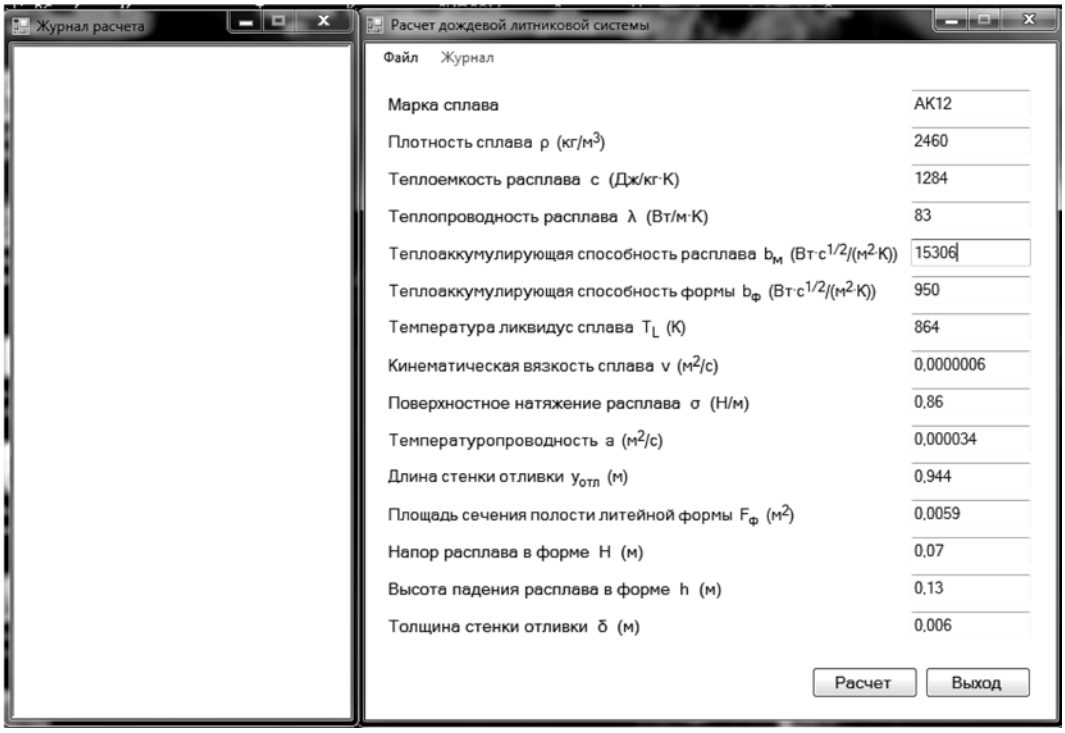


Рис. 2. Окно ввода начальных параметров для расчета исполняемых размеров дождевой литниковой системы для отливки «крышка»

баритными размерами 310 × 162 × 129 мм и параметром шероховатости *Rz*80 целесообразно заливать с помощью дождевой литниковой системы в песчаную форму. Для расчета исполняемых размеров дождевой литниковой системы применим программу расчета на ЭВМ.

В окно ввода начальных параметров (рис. 2) необходимо ввести физические свойства сплава и формы, геометрические параметры отливки и формы и др. На рис. 2 величина $y_{отл}$ — длина стенки отливки, в которую подводятся «дождевые» питатели; $F_ф$ — площадь сечения полости литейной формы, в котором происходит подъем расплава при заполнении полости литейной формы расплавом; напор расплава в форме *H* принимают исходя из геометрических размеров оснастки (высоты опоки) и из диапазона 0,05...0,10 м.

Одновременно с окном ввода начальных параметров открывается журнал расчета, в котором записываются в хронологической последовательности значения всех промежуточных результатов расчета. Каждому расчету присваивается порядковый номер.

После ввода начальных данных необходимо нажать кнопку «Расчет». В окне «Ввод параметра» программа запросит ввести значение диаметра питателя, удовлетворяющего требуемым условиям (рис. 3). При вводе некорректного значения программа выдаст ошибку со ссылкой на невыполнение требуемых условий (рис. 4).

В этом случае нужно нажать кнопку «ОК» и ввести правильное значение. После этого программа продолжит расчет и предложит пользователю ввести количество питателей, удовлетворяющих определенному условию (рис. 5). Затем программа продолжит расчет и предложит выбрать соотношение элементов литниковой системы и их количество. Затем программа предупредит о том, что расчет завершен, а основные результаты расчета представлены в отдельном файле (рис. 6). Промежуточные расчеты записываются в «Журнал расчетов» и при необходимости их можно сохранить. Для выхода из программы необходимо нажать кнопку «Выход».

В результате расчета определены рациональные исполняемые размеры дождевой литниковой системы (диаметр и количество питателей, размеры литникового хода и стояка), а также температура заливки расплава, обеспечивающие получение отливки «крышка» без возникновения дефектов газовая пористость и спай на стадии заполнения полости литейной формы расплавом.

Для моделирования процесса заполнения полости формы расплавом использован программный комплекс «LVM Flow-3D», предназначенный для расчета процессов формирования отливки на стадиях заполнения и затвердевания при различных способах литья. С помощью программы «КОМПАС 3D» была создана модель отливки «крышка» с литниково-питающей системой. Результаты

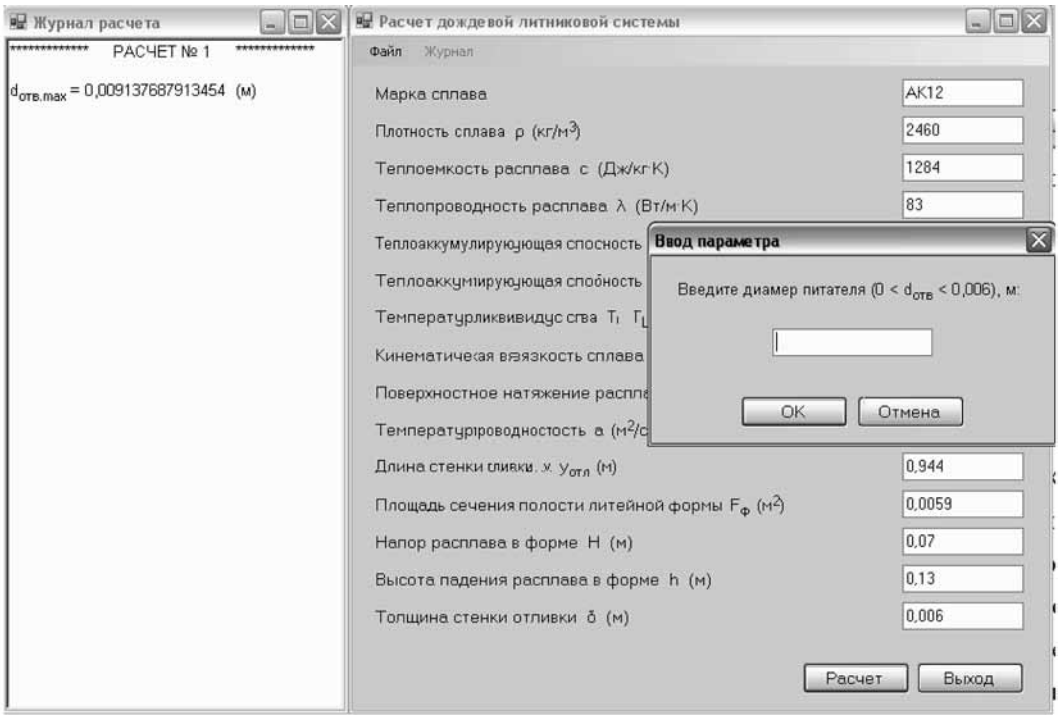


Рис. 3. Окно ввода значения диаметра питателя

компьютерного моделирования (рис. 7, см. обложку) показали отсутствие усадочных дефектов в теле отливки. Следовательно, отливку «крышка» можно получать с применением дождевой литниковой системы с рассчитанными исполняемыми размерами (рис. 8, *а*). Анализ макрошлифов боковых стенок отливки показал отсутствие газовых дефектов в теле отливки (рис. 8, *б*).

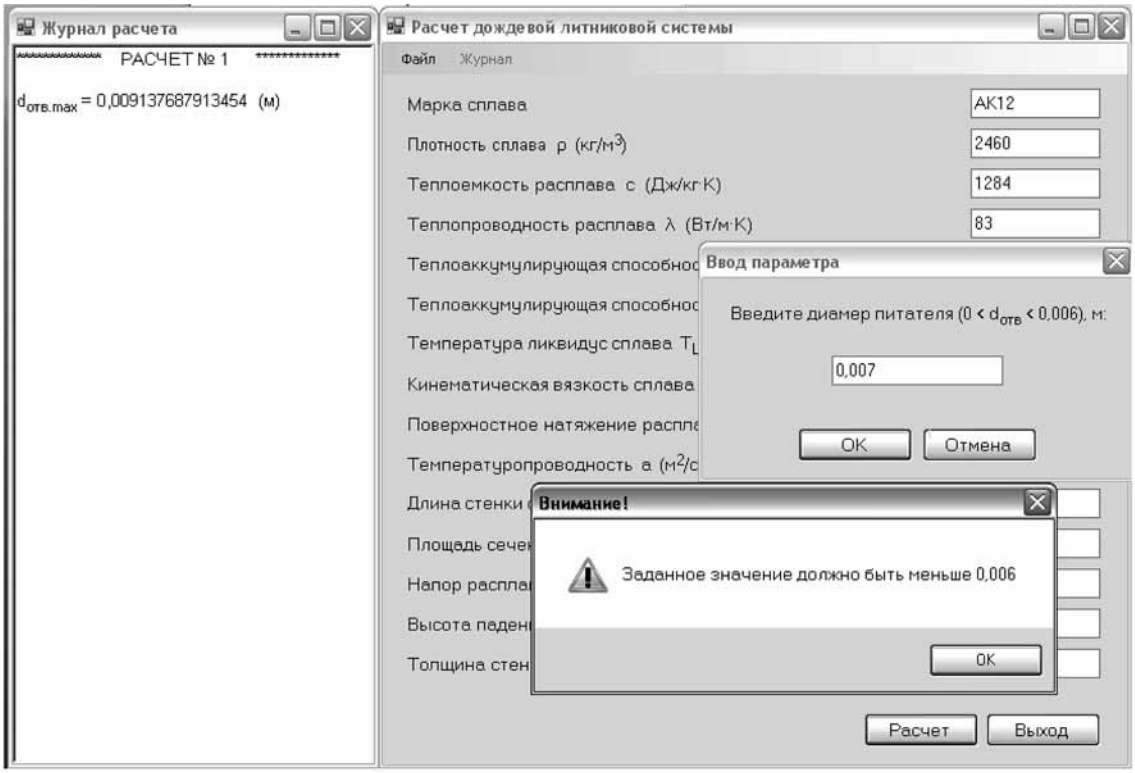


Рис. 4. Окно с сообщением о некорректном вводе значения диаметра питателя

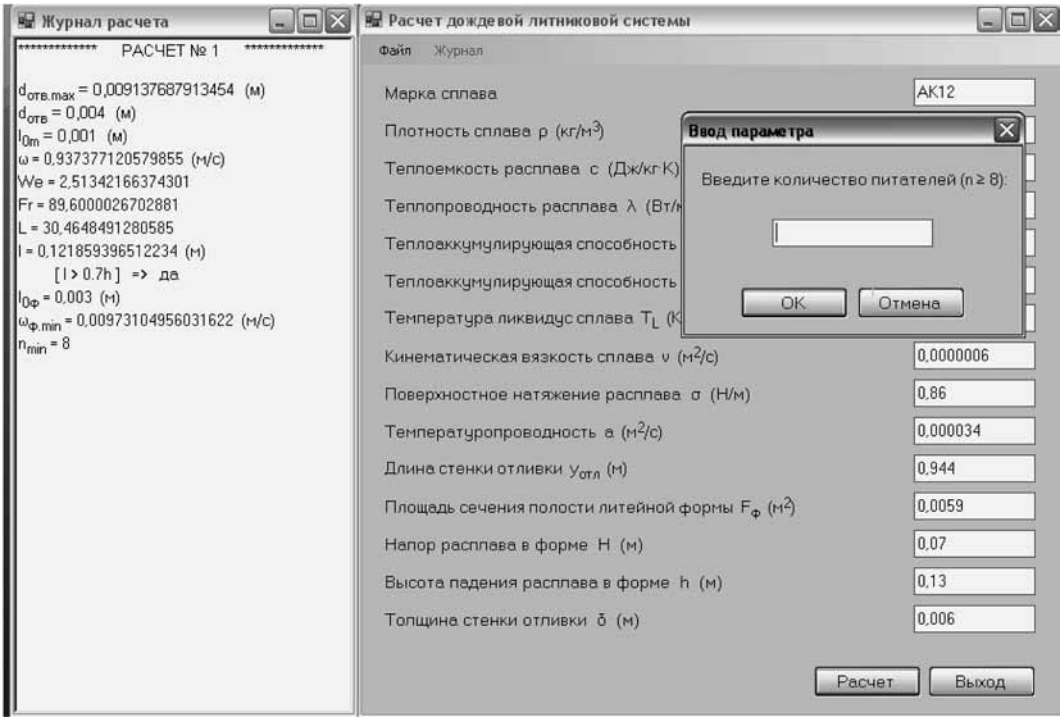


Рис. 5. Окно ввода количества питателей

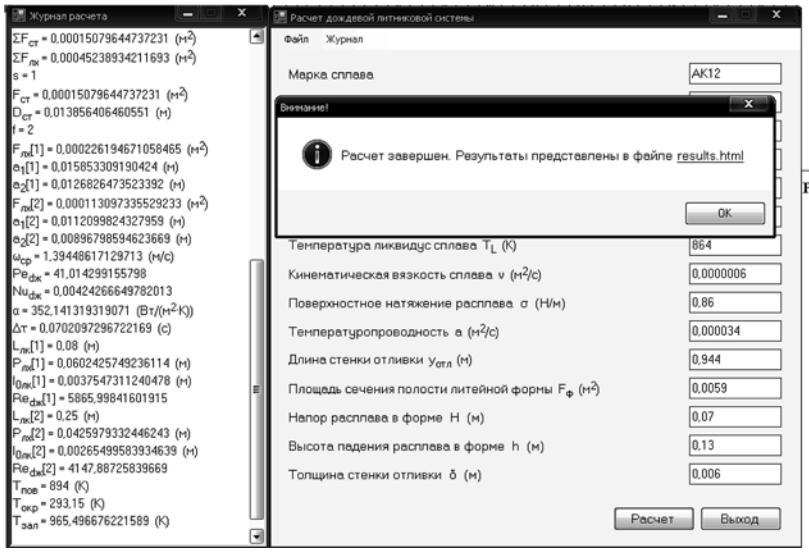
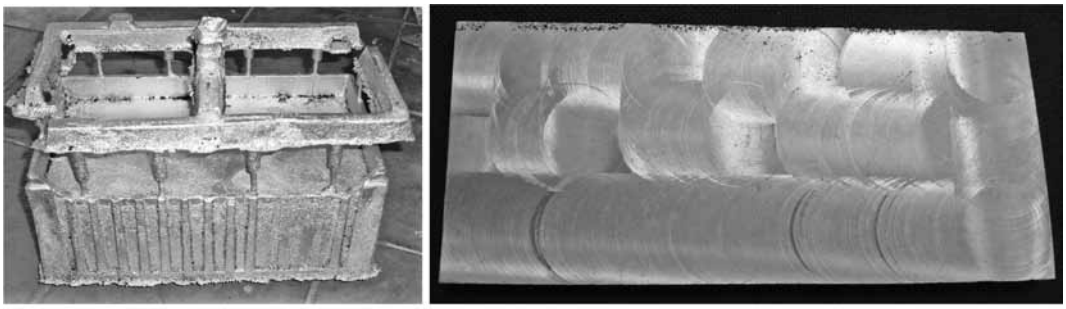


Рис. 6. Окно с результатами расчета дождевой литниковой системы

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДОЖДЕВОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

$T_{зал}$	965,5	К
$d_{отв}$	0,004	м
n	12	шт.
H	0,07	м
$ΣF_{лк}$	0,0005	м²
$a_1[1]$	0,0159	м
$a_1[2]$	0,0112	м
$a_2[1]$	0,0127	м
$a_2[2]$	0,009	м
$ΣF_{ст}$	0,0002	м²
$D_{ст}$	0,0139	м



а) *б)*

Рис. 8. Отливка «крышка»:
а — после выбивки, с литниковой системой; *б* — макрошлиф боковой стенки

Это свидетельствует о достоверности проведенного расчета.

Заключение. Комплексный подход к решению проблемы получения годных отливок позволяет значительно сократить время технологической подготовки производства. Технологу-литейщику необходимо выбрать тип литниковой системы, рассчитать исполняемые размеры литниковой системы, позволяющие получить отливку с отсутствием дефектов, возникающих на стадии заполнения. Затем рассчитанные размеры ввести в САМ и провести расчет процесса формирования отливки на стадии затвердевания, выявив наличие или отсутствие газоусадочных дефектов, и принять решение о возможности получения отливки с применением выбранного типа литниковой системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Изотов В.А.** Развитие методологии проектирования и расчета литниковых систем для отливок из алюминиевых сплавов: дис. ... д-ра техн. наук. Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьева, 2012.

2. **Федулова Ю.С.** Разработка методик расчета исполняемых размеров дождевой и верхней литниковых систем для алюминиевых сплавов: дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьева, 2013. 228 с.

3. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617804. Программа расчета исполняемых размеров дождевой и верхней литниковых систем для алюминиевых сплавов / Ю.С. Федулова, В.А. Изотов, А.А. Акутин; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «РГАТУ имени П.А. Соловьева». Заявл. 08.07.2013; зарегистрир. 23.08.2013; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 3.

Юлия Сергеевна Федулова, канд. техн. наук,
yulipyn@mail.ru;
Владимир Анатольевич Изотов, д-р техн. наук;
Алексей Анатольевич Акутин, канд. техн. наук

УДК 621.791.011

А.М. Дриц *(ЗАО «Алкоа Самарский металлургический завод»),*
В.В. Овчинников, Д.А. Пахомов
(Московский государственный индустриальный университет)

Свойства сварных соединений нагартованных плит сплава 1565ч

Изучены особенности структуры и свойства стыковых соединений плит толщиной 32 мм алюминиевого сплава 1565ч полученных аргонодуговой и электронно-лучевой сваркой. Исследовано влияние применяемого способа сварки на механические свойства и структуру сварных соединений плит сплава 1565ч.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы; сплавы системы Al—Mg; аргонодуговая сварка; электронно-лучевая сварка; стыковые соединения; макроструктура; механические свойства; твердость сварного соединения.

The special features of structure and property of butt joints of the plates with thickness of 32 mm of the aluminum alloy of 1565ch obtained by argon-arc and electron-beam welding are studied. Influence of the welding method on the mechanical properties and the structure of the welded joints of the plates of the alloy 1565ch is investigated.

Keywords: aluminum alloys; alloys of system Al—Mg; argon-arc welding; electron-beam welding; butt joints; macrostructure; mechanical properties; hardness of welded joint.

Введение. В последнее время производители специальной автотехники большое внимание уделяют применению алюминиевых сплавов в сварных конструкциях указанных конструкций для снижения их массы.

Широко применяют термически неупрочняемый свариваемый сплав АМг6 в отожженном и горячекатаном состоянии. Данный сплав имеет относительно низкий предел текучести ($\sigma_{0,2}$ = = 150...180 МПа). В связи с этим предпринимали

попытки использовать в сварных конструкциях листы и плиты со значительной нагартовкой, которая повышает значения $\sigma_{0,2}$ до 300 МПа, а предела прочности $\sigma_в$ до 450 МПа.

Перспективным материалом для изготовления специальной автомобильной техники, обладающим более высокими механическими свойствами по сравнению со сплавом АМг6, является сплав 1565ч, поставляемый компанией "Алкоа Россия".

При сварке плавлением упрочненный нагартовкой металл вследствие рекристаллизации и отпуска разупрочняется в околошовной зоне до уровня отожженного металла, а прочность шва практически такая же, как и при других состояниях исходного полуфабриката [1, 2].

Целью работы является изучение особенности разупрочнения плит сплава 1565ч при различных способах сварки и определение зависимости прочности соединений от тепловложения и формы шва.

Материалы и методика проведения исследований. Использовали плиты толщиной 30 мм из сплава 1565ч (5,02 % Mg; 0,85 % Mn; 0,82 % Zn; 0,22 % Fe; 0,12 % Si; 0,11 % Zr), которые в исходном состоянии после прокатки в продольном направлении имели следующие свойства: $\sigma_в$ = 450 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 409 МПа, δ = 5,7 %.

Сварные соединения выполняли ручной аргонодуговой сваркой, автоматической сваркой в щелевую разделку кромок и электронно-лучевой сваркой на режимах, приведенных в табл. 1 [3, 4]. Указанные способы характеризуются неодинаковым тепловложением, динамическим действием и эффективностью удаления оксидной пленки. Плиты шириной 400 мм соединяли электронно-лучевой сваркой за один проход без разделки кромок.

При использовании для соединения плит ручной аргонодуговой и автоматической щелевой сварки применяли разделки кромок, показанные на рис. 1. Для уменьшения теплового воздействия на соединяемый металл сварку осуществляли в несколько проходов. После каждого прохода образец охлаждали до комнатной температуры и при ручной аргонодуговой сварке переворачивали.

Непосредственно перед сваркой стыкуемые кромки образцов подвергали шабрению по торцевой поверхности и по лицевой и обратной по-

1. Режимы сварки различными способами плит толщиной 30 мм из сплава 1565ч

Способ сварки	Установка, источник питания	U, В	$I_{св}$, А	$v_{св}$, м/ч	q/v, Дж/см
Электронно-лучевая	ЭЛУ-20МК, ЭЛА-60/60	$60 \cdot 10^3$	$220 \cdot 10^{-3}$	35	10 900
Аргонодуговая на переменном токе	РГА-150, ИСВУ-315	14	165	5	10 050
Автоматическая в щелевую разделку	Автомат сварочный, ИСВУ-315	14	180	15	4850

Примечание. Приведены расчетные значения погонной энергии q/v при КПД источников нагрева 0,8; 0,6 и 0,75 соответственно способу сварки.

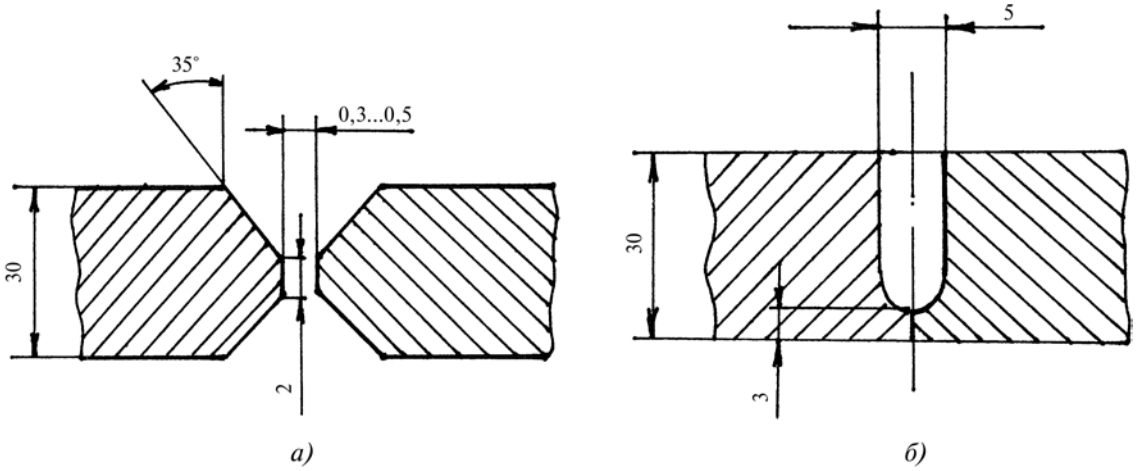


Рис. 1. Форма разделки кромок при аргонодуговой сварке (*а*) и автоматической сварке в щелевую разделку (*б*) плит толщиной 30 мм из сплава 1565ч

верхности (полоской шириной 10 мм от стыка). После сварки образцов проводили рентгеновский контроль сварных соединений.

При ручной аргонодуговой и автоматической сварке в щелевую разделку кромок применяли присадочную проволоку марки Св.АМг61 диаметром 2,6 мм.

Для механических испытаний на предел прочности при растяжении, угол изгиба и ударную вязкость (по шву и зоне сплавления) изготовляли образцы в соответствии с ГОСТ 6996—66. При этом предел прочности при растяжении определяли на плоских образцах толщиной 3 мм, вырезанных из средней части соединения по высоте (средняя часть плиты по толщине).

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты анализа макроструктуры сварных соединений показали, что все примененные способы сварки обеспечивали получение качественных, без присутствия внутренних дефектов соединений (рис. 2). Ширина швов находится примерно в прямой зависимости от погонной энергии сварки.

По данным механических испытаний сварных соединений (табл. 2), образцы сварных соединений, зачищенные с двух сторон заподлицо с основным металлом, имеют различные значения прочности. Отношение прочности соединений $\sigma_{с.с}$ к прочности основного металла $\sigma_{о.м}$ (по средним значениям) составляет 0,87 при электронно-лучевой сварке; 0,71 при ручной аргонодуговой сварке и 0,77 при сварке в щелевую разделку кромок (предел прочности основного металла 440 МПа).

При сварке с более высокой концентрацией энергии ширина шва уменьшается и заметно возрастает условный предел текучести. Ударная вяз-

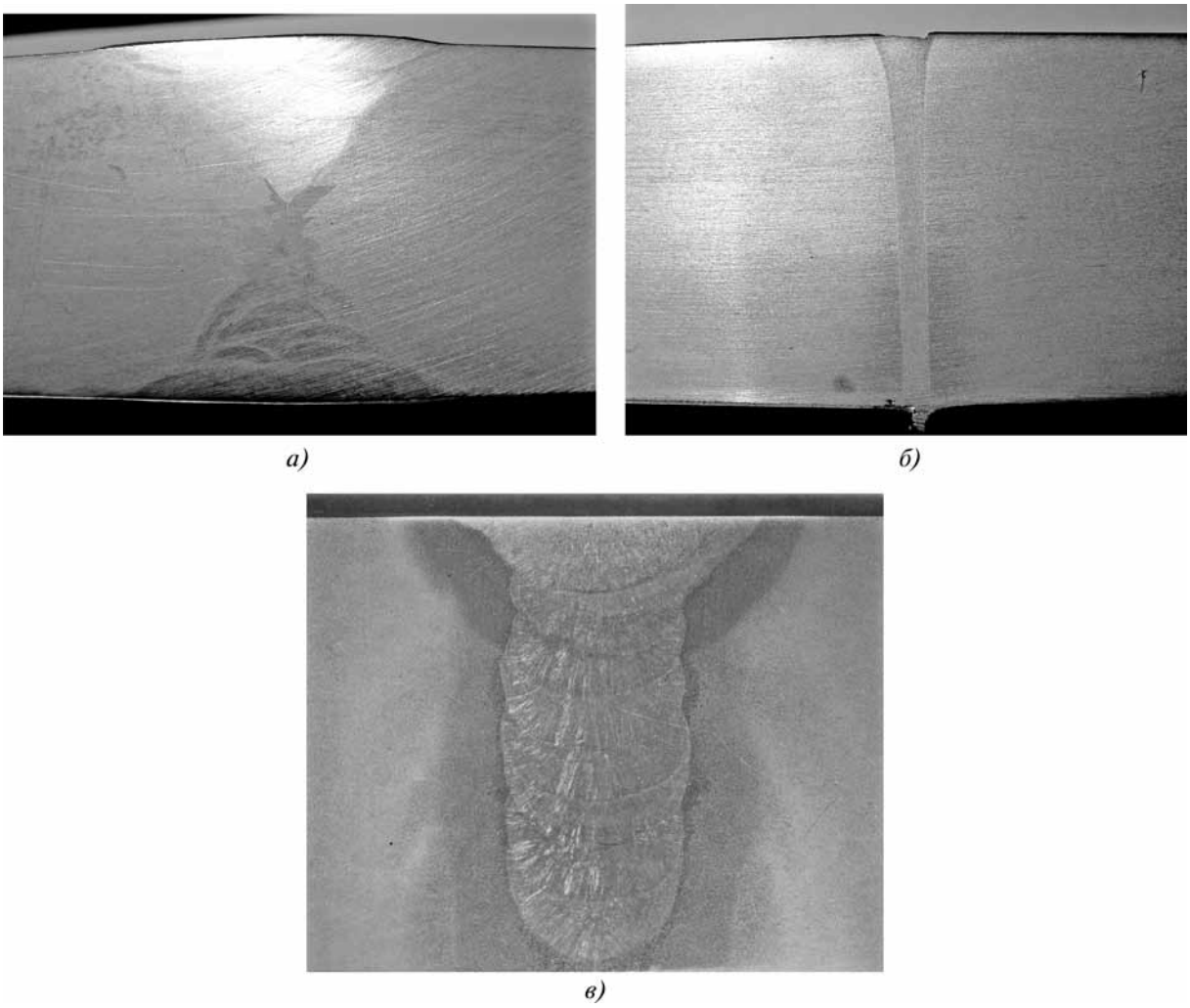


Рис. 2. Макроструктура плит толщиной 30 мм из сплава 1565ч, выполненных различными способами сварки (×1):

а — ручная аргонодуговая многопроходная сварка; *б* — электронно-лучевая сварка; *в* — автоматическая сварка в щелевую разделку кромок

2. Механические свойства соединений плит толщиной 30 мм из сплава 1565ч при различных способах сварки

Способ сварки	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	α, °	*KC*U, кДж/м^2	$\sigma_{с.с}/\sigma_{о.м}$
	МПа				
Электронно-лучевая	391	330	64	190	0,87
Ручная аргонодуговая многопроходная	320	272	155	280	0,71
Автоматическая в щелевую разделку	347	310	160	290	0,77

Примечания.1 . Значения $\sigma_в$ получены на образцах, зачищенных заподлицо с двух сторон.
2. Приведены средние показатели механических свойств по результатам пяти испытаний.

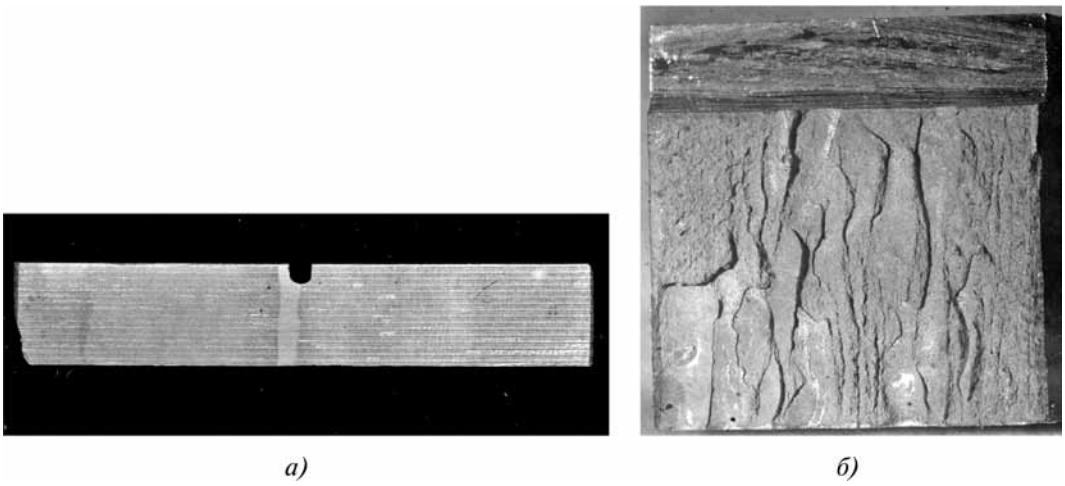


Рис. 3. Образец сварного соединения плиты сплава 1565ч, выполненного электронно-лучевой сваркой, до испытаний на ударную вязкость (*а*) и характер его разрушения при испытаниях (*б*)

кость металла шва при дуговых способах сварки больше, чем у соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой. В последнем случае ввиду малой ширины шва разрушение при ударном изгибе фактически происходит по зоне сплавления и основному металлу (рис. 3). Кроме того, на повышение ударной вязкости при дуговых способах сварки благоприятно влияет применение присадочной проволоки.

При всех рассмотренных способах сварки плиты существенно разупрочняются по зоне термического влияния. Снижение их твердости от исходной до твердости металла шва плавное, без перегибов кривой, характерных для термически упрочненных сплавов, например, 1420 (рис. 4) [5]. Это свидетельствует о том, что при сварке плит сплава 1565ч в зоне термического влияния происходит частичное или полное снятие наклепа и рекристаллизация, в то время как у термоупрочняемых алюминиевых сплавов наблюдается более широкий комплекс структурных изменений, включая перезакалку и различные стадии распада твердого раствора [6].

Общая ширина зоны разупрочнения в значительной мере зависит от способа и погонной энер-

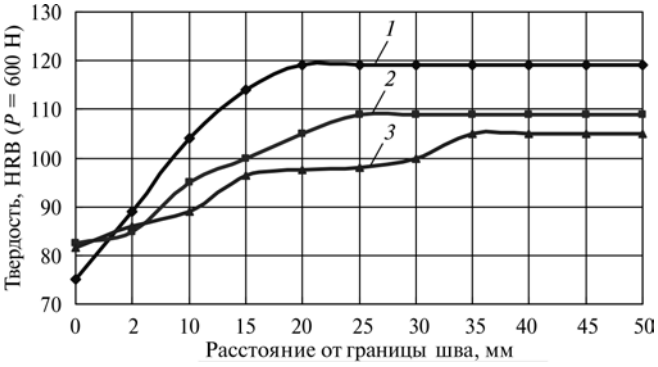


Рис. 4. Изменение твердости металла зоны термического влияния соединений плит толщиной 30 мм сплава 1565ч, выполненных электронно-лучевой сваркой (*1*), сваркой в щелевую разделку кромок (*2*) и ручной многопроходной аргонодуговой сваркой (*3*)

гии процесса сварки. При электронно-лучевой сварке эта зона составляет 12...15 мм, при сварке в щелевую разделку кромок — 15...20 мм и при ручной многопроходной аргонодуговой сварке — 25...30 мм.

При многопроходной сварке тепло предыдущих слоев не суммируется, так как металл успевает полностью остыть. Повторение близких по мощности термических воздействий на каждом последующем проходе незначительно изменяет твердость свариваемого металла. Вследствие этого ширина зоны разупрочнения уменьшается обратно пропорционально количеству проходов.

Выводы

1. При электронно-лучевой сварке благодаря малому тепловложению получены узкие швы с участками разупрочнения основного металла до 12...15 мм с каждой стороны шва. Прочность соединений при этом на 50...70 МПа выше, чем у сваренных дуговыми методами сварки.

2. Выполнение многослойных швов с помощью автоматической аргонодуговой сварки в щелевую разделку кромок неплавящимся электродом наряду с повышением прочности соединений на 20...30 МПа способствует сужению зоны разупрочнения примерно на 40...50 % по сравнению с многопроходной ручной аргонодуговой сваркой.

3. Для изготовления сварных конструкций из нагартованных плит сплава 1565ч целесообразно применять способы сварки с минимальным однократным тепловым вложением или многослойную сварку с полным промежуточным охлаждением соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Дриц А.М., Овчинников В.В., Растопчин Р.Н.** Технологические свойства листов из свариваемого алюминиевого сплава 1565ч для производства цистерн // Технология легких сплавов. 2012. № 3. С. 20—29.

2. **Szubryt M., Fryc H.** Сварка алюминиевых сплавов серии 6000 способами MIG Puls и Synchro Puls в процессе изготовления рельсовых транспортных средств // Biuletin institutu spawalnictwa w gliwicach. 2010. Roc. 52. № 5. С. 192—194, 197—198.

3. **Овчинников В.В.** Электронно-лучевая сварка новых деформированных алюминиевых сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 1. С. 11—16.

4. **Kotsuya Kondou, Nobuhiro Matsumoto, Kouji Wada, Osamu Ohashi.** Влияние параметров режима сварки на импульсном токе на соединение алюминиевых сплавов 5052 и 6063 // Journal of light metal welding and construction. 2008. Vol. 46. № 11. P. 11—17.

5. **Дриц А.М., Овчинников В.В.** Свариваемость и свойства соединений высокопрочных сплавов системы Al—Cu—Li—Mg, легированных серебром, скандием и цирконием // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 7. С. 18—25.

6. **Гетерогенность** структуры при прокатке и отжиге алюминиевых сплавов / С.Я. Бецофен, О.Е. Осинцев, Фэн Цзян, С.А. Масюков // Металловедение и термическая обработка металлов. 2004. № 9. С. 14—19.

Александр Михайлович Дриц, канд. техн. наук;
Виктор Васильевич Овчинников, д-р техн. наук,
vikov1956@mail.ru;
Денис Анатольевич Пахомов

УДК 621.83

А.Д. Хван, Д.В. Хван, В.А. Крук*, А.А. Воропаев
(Воронежский государственный технический университет,
**ООО НПФ "Мехпресс", г. Воронеж)*

Изготовление цилиндрических поковок продольной осадкой

Рассмотрена новая технология изготовления цилиндрических поковок ступенчатой формы продольной осадкой. Для реализации данной технологии в производственных условиях предложена конструкция штампа, в которой для предотвращения продольного изгиба заготовок используются поддерживающие элементы. Применение новой технологии в производстве позволит повысить эффективность в обработке металлов давлением.

Ключевые слова: *цилиндрическая поковка; продольная осадка; штамп; поддерживающие элементы; относительная деформация; формообразование; упругий элемент.*

The new technology of manufacturing of step form cylindrical forgings are considered by longitudinal compression. For realization of this technology the stamp design in which for prevention of longitudinal bend of preparations the supporting elements are used in production conditions is offered. Application of new technology in production will allow to increase efficiency in processing of metals by pressure.

Keywords: cylindrical forging; longitudinal compression; stamp; supporting elements; relative deformation; shaping; elastic element.

В настоящее время в промышленности широко применяют объемную штамповку для получения сложной формы заготовок ступенчатых валов. Однако наряду с указанным способом поковки простой формы можно изготовлять осадкой длинномерной заготовки. К классу деталей, изготовляемых этим способом, можно отнести представленные на рис. 1 поковки.

Рассмотрим конструктивную схему штампа для формообразования этих деталей осадкой. В основу данного штампа положена конструкция устройства [1], как наиболее приемлемая с точки зрения разработки технологической оснастки применительно к промышленным условиям. В целях повышения производительности труда указанное устройство должно иметь плоскость разъема для установки заготовки в нем и съема готовой поковки из штампа с минимальными затратами времени, что является одним из главных факторов, определяющих целесообразность внедрения новой техники в производство.

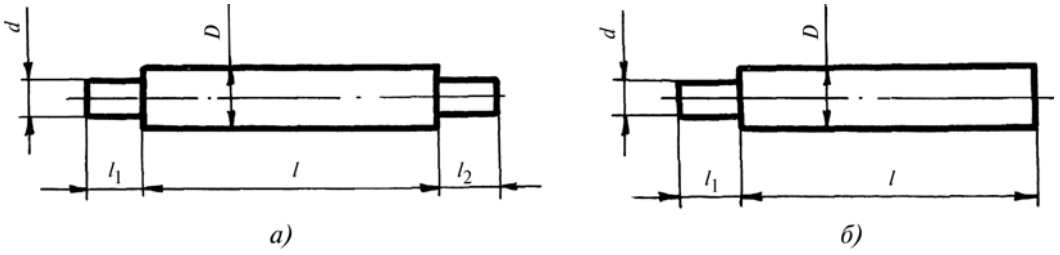


Рис. 1. Формы поковок

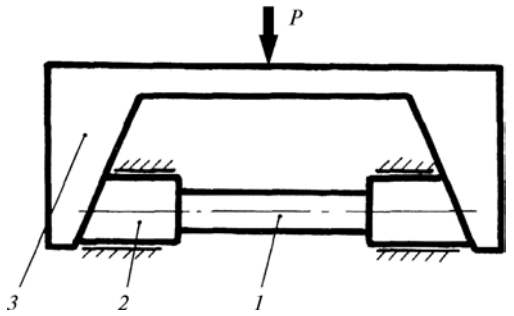


Рис. 2. Схема осадки заготовки

Для осуществления осадки заготовки до больших степеней деформации в одном штампе нужно в последнем обеспечить возможность перемещения обеих торцевых поверхностей деформируемой заготовки. В связи с этим в конструкции штампа принята кинематическая схема осадки заготовки, показанная на рис. 2.

Согласно этой схеме сжатие заготовки *1* производится движением обоих ее торцев в осевом направлении с помощью клинового механизма, образованного пуансоном *2* и приводной рамой *3* через их соответствующие плоскости контакта.

Конструктивная схема штампа представлена на рис. 3. Штамп содержит следующие основные элементы. Нижняя *1* и приводная верхняя *2* с упругим элементом *3* плиты, соосно одна с другой закрепленные на нижней *1* и верхней *2* плите полуматрицы *4* и *5* и смонтированные на плите *1* по обе стороны нагружающие цилиндрические штоки *6* с плоскими торцами. Привод последних представляет собой клиновой механизм, состоящий из клина *7*, закрепленного на верхней плите *2*, ползушки *8* с наклонной плоской поверхностью и установленной неподвижно на плите *1* стойки *9*. Под действием пружины сжатия *10* соответствующие плоские поверхности клина *7*, ползушки *8* и стойки *9*, образующие между собой кинематические пары, всегда находятся в контакте друг с другом. Для предотвращения искривления заготовки при ее осадке в полуматрицах *4* и *5* устанавливаются поддерживающие секторы *12*, изготовленные разрезкой по диаметральной плоскости на шесть (или восемь) равных частей детали в виде усеченного конуса с углом 2β и соосным отверстием диаметра *d*.

На основании указанных секторов выполнены выступы прямоугольной формы, расположенные в радиальном направлении симметрично относительно плоскости симметрии секторов. Обойма *13*, имеющая наружную цилиндрическую поверхность для сопряжения по подвижной посадке с такой же внутренней поверхностью полуматриц *4* и *5* и внутреннюю коническую поверх-

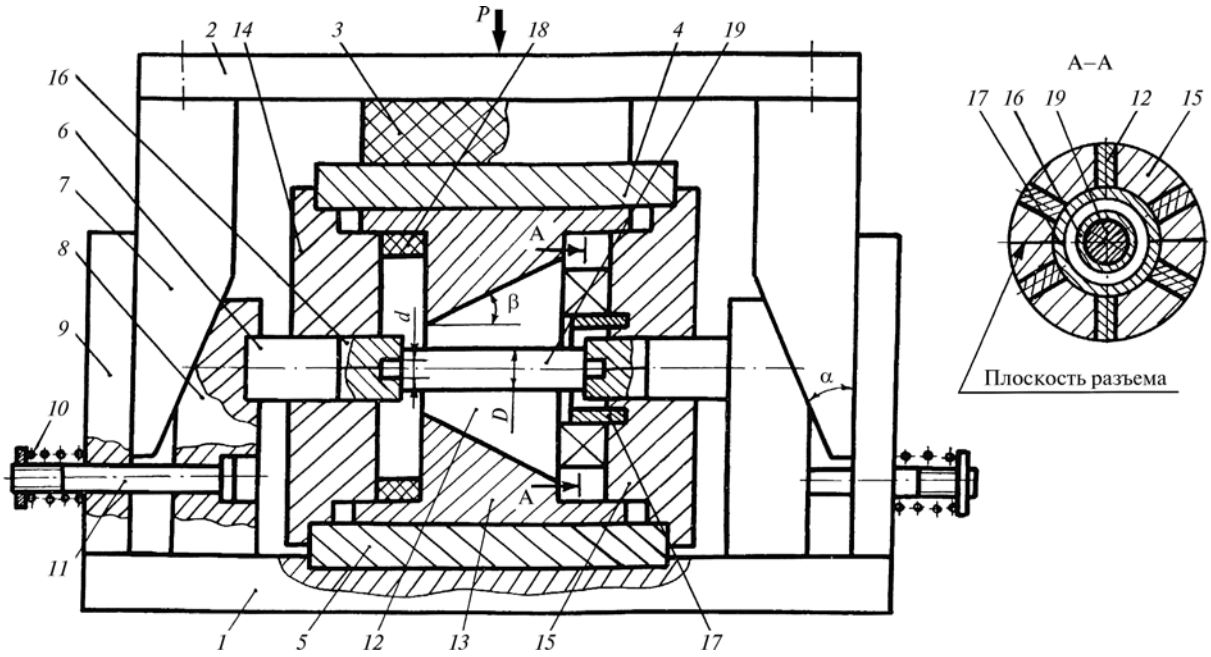


Рис. 3. Конструкция штампа

ность для контактирования с поддерживающими секторами *12*.

Фланцы *14* и *15*, сопрягаемые по цилиндрической поверхности с полуматрицами *4* и *5* с возможностью закрепления на них, например, с помощью резьбового соединения. В сопрягаемых со штоками *6* цилиндрических фланцах *14* и *15* устанавливаются разрезанные на две равные части пуансоны *16* с глухими отверстиями диаметром *d* и глубиной, равной длине ступени l_1 и l_2 изготовляемой поковки (см. рис. 1).

В конструкции штампа должно быть предусмотрено для улучшения его обслуживания крепление обеих частей пуансонов *16* к соответствующим частям фланцев *14* и *15* с возможностью их перемещения относительно последних в горизонтальном направлении. Таким образом, в рабочем положении штампа штоки *6* и пуансоны *16* вместе образуют одну кинематическую пару соответственно с фланцами *14* и *15*, позволяющую привести в движение торцевые поверхности заготовки при ее осадке.

На внутренней торцевой поверхности фланца *15* выполнены шесть (или восемь) пазов прямоугольной формы в радиальном направлении для осуществления кинематической взаимосвязи с прямоугольными выступами секторов *12* и установлено стопорное кольцо *17* для ограничения движения секторов *12* в направлении к оси центральных отверстий фланцев *14* и *15*. Упругий элемент *18* (например, в виде твердой технической резины), установленный между торцевыми плоскостями фланца *14* и обоймы *13* и предназначенный для поджатия последней к секторам *12* по конической поверхности.

В исходном положении (до начала нагружения или без обрабатываемой заготовки) под действием упругих сил элемента *18* обойма *13* занимает крайнее правое положение, а секторы *12* при этом приходят в соприкосновение своими прямоугольными выступами со стопорным кольцом *17*, обеспечивая тем самым номинальный диаметр *d* отверстия, в связи с чем сопрягаемые друг с другом внутренние цилиндрические поверхности выступов на секторах *12* и внешняя цилиндрическая поверхность на кольце *17* выполняются одних и тех же номинальных диаметров.

Для реализации установки обрабатываемой заготовки и съема ее после формообразования обойма *13*, фланцы *14* и *15*, пуансоны *16*, стопорное кольцо *17*, а также упругий элемент *18* должны иметь, как и полуматрицы *4* и *5*, одну и ту же горизонтальную плоскость разъема (см. рис. 3). Причем полуматрицы *4* и *5* и обе части обоймы *13* после сборки перед деформированием заготовки должны быть зафиксированы между собой, например, штифтовым соединением для обеспечения их исходных проектных размеров. В полуматрицах *4* и *5* устанавливаются по три (или четыре) сектора *12*.

Штамп работает следующим образом. Обрабатываемую заготовку *19* длиной l_0 и диаметром *d* размещают на полуматрице *4*. При движении верхней плиты *2* вниз осуществляется сборка полуматриц *4* и *5* и всех установленных в них деталей, прижимая силой *P*, препятствующей раскрытию обоймы *13*, и перемещение ползушек *8* с нагружающими штоками *6* навстречу друг другу, благодаря чему будет происходить контакт последних с пуансоном *16* и сжатие через них заготовки *19*. В связи с наличием возможности перемещения секторов в радиальном направлении деформируемая часть заготовки *19* будет увеличиваться в диаметре до достижения необходимого размера *D* (на рис. 3 представлен штамп на конечном этапе формообразования поковки).

Благодаря сопряжению по конической поверхности секторов *12* и обоймы *13* последняя также будет двигаться, но в осевом (горизонтальном) направлении влево, преодолевая при этом сопротивление упругого элемента *18* и обеспечивая тем самым одновременное перемещение всех секторов *12*, так как движение только одного из них, вызванное искривлением заготовки, приведет к заклиниванию обоймы *13* в полуматрицах *4* и *5*. Обойма *13* будет двигаться только при одновременном перемещении всех секторов *12*. Таким образом, благодаря обойме *13* заготовка *19* при перемещении верхней плиты вниз будет пластически сжиматься без продольного изгиба до достижения необходимого размера в ее поперечном сечении. Значение угла конусности секторов *12* рассчитывается по методике, изложенной в [1]. Рекомендуется для обеспечения достаточной надежности в работе штампа размещать между всеми подвижными соприкасающимися поверхностями антифрикционное покрытие и устанавливать секторы *12* в средней части деформируемой заготовки.

Упругий элемент *3* в штампе предназначен для осуществления предварительного поджатия друг

к другу всех разделенных на две части деталей по плоскости разъема и движения ползушек *8* с нагружающими штоками *6* для сжатия заготовки *19* до необходимой степени деформации. Деформирование заготовки прекращают, например, по сигналу установленных в штампе датчиков. При возвращении под действием пружин сжатия *10* в исходное верхнее положение плиты *2* с полуматрицей *5* проводят съем готовой поковки.

Если возникает необходимость изготовления в данном штампе поковок второго типа (см. рис. 1, *б*), то один из пуансонов *16* заменяют на пуансон с плоскими торцами без посадочного глухого отверстия диаметром *d*. При этом штамп можно использовать также для выполнения наборного перехода при осуществлении технологической операции высадки больших головок на стержнях.

В предложенном штампе можно выполнять также операцию осадки для получения поковок большего диаметра. При этом в нем устанавливают с двух сторон пуансоны с плоскими торцами без глухих отверстий.

На основе рассмотренной конструкции штампа можно спроектировать и изготовить реальную технологическую оснастку для изготовления представленных на рис. 1 поковок. При этом угол α клинового механизма, обеспечивающего перемещение всех подвижных элементов штампа, и все остальные его размеры назначают из конструктивных соображений.

Длину обрабатываемой заготовки диаметра *d* для формообразования ее в поковку, представленную на рис. 1, *а*, можно определить по следующей формуле, полученной из условия пластической несжимаемости материала:

$$l_0 = l_1 + l_2 + \frac{D^2}{d^2} l. \qquad (1)$$

Для поковок второго типа (см. рис. 1, *б*) длину исходной заготовки определяют по этой формуле, приняв $l_1 = 0$ (или $l_2 = 0$).

Относительную деформацию и диаметр заготовки, полученной осадкой поковки, можно определить по соотношениям:

$$\varepsilon_k = \frac{2c}{\alpha_0}\left(1 - \sum_{i=1}^{k-1} \varepsilon_i\right)^{-0,5}; \qquad (2)$$

$$d_{k-1} = d\left(1 - \sum_{i=1}^{k} \varepsilon_i\right)^{-0,5}, \qquad (3)$$

где $k = 1, 2, 3$ — номера поддерживающих секторов *12* (см. рис. 3), соответствующих типоразмеров; $c \leqslant 2$ — коэффициент, характеризующий размеры короткой неискривляемой части цилиндрической заготовки.

В уравнении (2) коэффициент

$$\alpha_0 = (l_0 - l_1 - l_2)/d. \qquad (4)$$

Для поковок второго типа в приведенных выражениях необходимо принять $l_1 = 0$ (или $l_2 = 0$). Длину секторов также назначают из условия устойчивости выступающих из них деформируемых частей заготовки по следующей формуле:

$$L = l - 2cd. \qquad (5)$$

Для расчета геометрических параметров упругого элемента *18* необходимо знать величину максимального перемещения обоймы *13*, вызванного движением секторов *12* в радиальном направлении при осадке заготовки *19*. В связи с этим величину данного перемещения можно оценить по формуле, полученной на основе анализа взаимодействия кинематических пар, образованных указанными элементами:

$$\delta = \frac{d_k - d_{k-1}}{2\mathrm{tg}\beta}, \qquad (6)$$

Рис. 4. Изготовленные поковки

где k — номер штампа (если для увеличения диаметра заготовки до величины D требуется использование нескольких штампов), $d_0 = d$ при $k = 1$.

В целях опытного обоснования возможности получения поковок рассмотренных форм были проведены опыты по осадке заготовок из стали 30 диаметром d = 16,5 мм. Для изготовления поковок первого типа применяли заготовки длиной l_0 = 175 мм, а поковок второго типа — l_0 = 155 мм.

Испытания заготовок проводили в устройстве второго типа [1], применяя при этом в качестве пуансона *16* закаленные стальные кольца с соосным отверстием диаметра 16,5 мм и толщиной $l_1 = l_2$ = 20 мм. Для получения поковок первого типа заготовка осаживалась с двумя насаженными на ее концевые части кольцами, а поковок второго типа — с одним насаженным кольцом. Фотография полученных поковок в паре с исходными заготовками представлена на рис. 4. Диаметры поковок при относительной деформации осадки ~25 и ~46 % составили 18,6 и 20,3 мм соответственно.

Таким образом, приведенные данные испытаний позволяют сделать заключение о реальной возможности получения поковок несложной формы осадкой длинномерных заготовок и рекомендовать рассмотренную конструкцию штампа в качестве базовой при разработке соответствующей технологической оснастки в промышленных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Хван Д.В.** Повышение эффективности в обработке металлов давлением. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1994. 224 с.

Александр Дмитриевич Хван, д-р техн. наук,
tpm@vorstu.ru;
Дмитрий Владимирович Хван, д-р техн. наук;
Виталий Александрович Крук, канд. техн. наук;
Алексей Алексеевич Воропаев, канд. техн. наук

ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ"

- За наличный и безналичный расчет
- С любого номера и на любой срок
- Без почтовых наценок

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4
тел.: (499) 269-5298, факс: (499) 269-4897,
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

УДК 621.73.06

Е.Н. Складчиков *(МГТУ им. Н.Э. Баумана)*,
И.А. Панова *(ОАО "НИКИЭТ", г. Москва)*,
С.С. Трух *(ООО "АПС РАДИС", г. Москва)*

Предохранительное устройство для кривошипных горячештамповочных прессов

Описано самовосстанавливающееся гидравлическое предохранительное устройство для предотвращения перегрузки кривошипного пресса при возникновении нештатных ситуаций путем ограничения силы на ползуне пресса, не требующее отдельной насосной установки.

Ключевые слова: кривошипный пресс; предохранительное устройство; ползун; насос; перегрузка; срабатывание; восстановление.

The self-recovering hydraulic safety device for prevention of overload crankshaft press is described at occurrence of supernumerary situations by restriction of force on slider press not demanding separate pump installation.

Keywords: crankshaft press; safety device; slider; pump; overload; operation; restoration.

Большой запас кинетической энергии маховика и жесткость хода ползуна кривошипных прессов могут вызвать значительную перегрузку пресса по силе и привести к катастрофическим последствиям с разрушением элементов пресса.

Известно самовосстанавливающееся гидравлическое предохранительное устройство в виде гидравлического цилиндра, соединяющего шатун главного исполнительного механизма с ползуном. Рабочее давление в цилиндре создается насосной установкой. Такое устройство затруднительно использовать в средних и тяжелых кривошипных горячештамповочных прессах с учетом необходимости подвода напорной гидромагистрали к подвижному элементу — ползуну пресса. Необходимость отдельной насосной установки создает дополнительные трудности ее размещения.

В статье описан самовосстанавливающийся гидравлический предохранитель для кривошипного горячештамповочного пресса, не требующий наличия отдельной насосной установки. Предохранитель предназначен для ограничения силы на ползуне пресса при случайных перегрузках по причине попадания в штамп сдвоенных заготовок или посторонних предметов, ошибок при регулировке высоты штампового пространства, штамповки переохлажденной заготовки и др. [1].

Гидрокинематическая схема предохранителя показана на рис. 1. Предохранитель (см. рис. 1, *а*) представляет собой гидравлический (рабочий) цилиндр плунжерного типа, встроенный в ползун *1* кривошипного пресса и смонтированный на ползуне насос, приводимый в действие от движения ползуна. Плунжер *2* цилиндра шарнирно соединен с шатуном *3* исполнительного механизма.

Насос представляет собой размещенный в корпусе *4* поршень *6* со штоком *7* и всасывающим клапаном *8*. Штоковая полость А насоса является его рабочей полостью. В верхней части корпуса насоса размещен резервуар Б с запасом рабочей жидкости. Поршень насоса подпружинен пакетом тарельчатых пружин *5*, размещенным в поршневой полости насоса. Последняя соединена с атмосферой и не является активной. В магистрали, соединяющей штоковую полость А насоса с полостью рабочего цилиндра, установлен нагнетательный клапан *9*. В корпусе насоса установлен настроечный клапан *10*, соединяющий полость рабочего цилиндра со сливной магистралью.

Шток поршня своей торцевой частью может взаимодействовать с упором *11*, смонтированном на станине *12* пресса. Это взаимодействие происходит в конце хода ползуна вверх.

Перед началом штамповки в рабочем цилиндре необходимо создать расчетное давление, обеспечивающее гидравлическую силу, равную номинальной силе пресса. Для этого выполняется несколько холостых ходов пресса без штамповки поковок. В конце каждого хода ползуна вверх (см. рис. 1, *б*) шток поршня насоса достигает упора *11* на станине *12* и останавливается. Корпус насоса вместе с ползуном продолжает движение вверх, в результате чего пружина насоса сжимается. При этом объем штоковой полости насоса

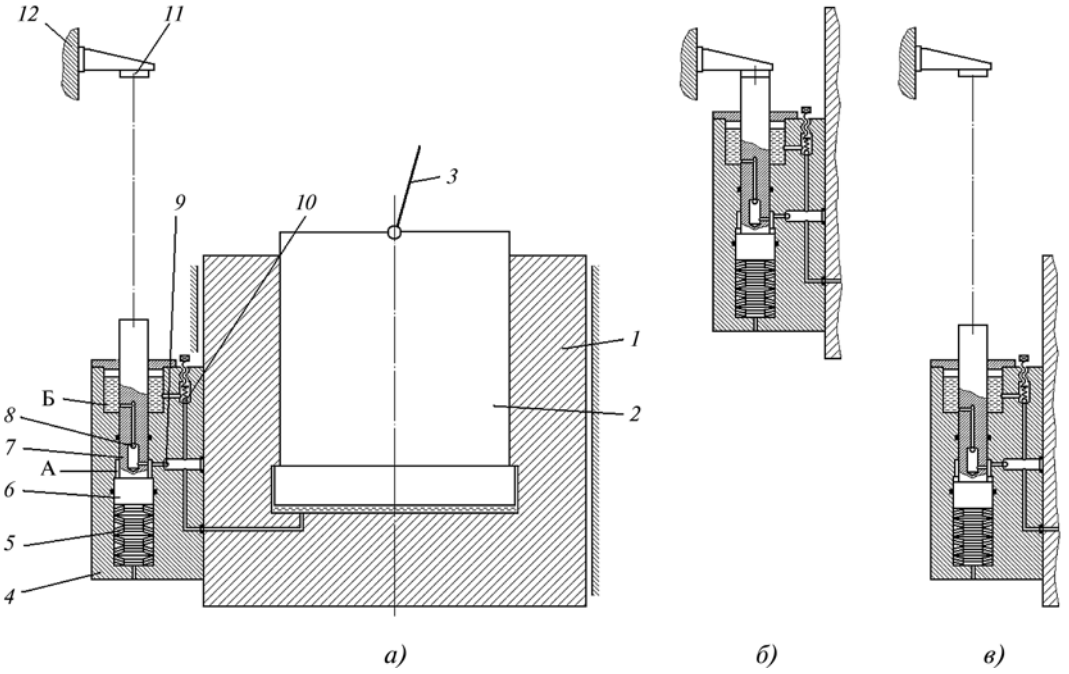


Рис. 1. Гидрокинематическая схема предохранителя:
а — до зарядки; *б* — в процессе зарядки; *в* — после зарядки

увеличивается, что приводит к всасыванию рабочей жидкости через всасывающий клапан из резервуара Б. При последующем движении ползуна и насоса вниз шток поршня выходит из контакта с упором и пружина насоса создает давление жидкости, которое передается в полость рабочего цилиндра предохранителя.

По мере повышения давления жидкости в рабочем цилиндре и штоковой полости насоса пружина при движении ползуна вниз распрямляется неполностью. По окончании зарядки рабочего цилиндра (см. рис. 1, *в*) пружина остается в сжатом состоянии и шток поршня насоса, опускаясь вниз, перестает взаимодействовать с упором на станине. При этом достигается расчетное давление, которое определяется параметрами пружины насоса и рабочей площадью его штоковой полости.

Работа данного предохранителя ничем не отличается от работы известных гидравлических предохранителей кривошипных прессов. При возникновении нештатной ситуации и перегрузке пресса в полости рабочего цилиндра предохранителя повышается давление жидкости, что приводит к открытию настроечного клапана *10* и перетеканию части жидкости из рабочего цилиндра в резервуар Б. Ползун пресса останавливается, а плунжер рабочего цилиндра, соединенный с шатуном, может закончить движение вниз без значительного увеличения силы на ползуне.

Работу предохранительного устройства проверяли путем математического моделирования в среде программного комплекса анализа динамических систем Па9 [2].

На рис. 2 показана топология кривошипного горячештамповочного пресса конструкции ЗИЛ (номинальная сила 10 МН; ход ползуна 250 мм; число ходов в минуту 40) с описываемым предохранительным устройством. Рабочее давление жидкости предохранительного устройства 50 МПа. Диаметр плунжера рабочего цилиндра 0,505 м. При принятом значении рабочего давления жидкости предохранительного устройства последняя будет иметь значительные объемные деформации, что приводит к увеличению продолжительности "зарядки". Поэтому в качестве рабочей жидкости целесообразно использовать глицерин, так как он обладает малой сжимаемостью и пожаробезопасен.

Поэлементное соответствие гидрокинематической схемы (см. рис. 1, *а*) и топологии (см. рис. 2) приведено в табл. 1.

На рис. 3—5 представлены результаты математического моделирования работы предохранительного устройства в режимах зарядки, срабатывания и последующей зарядки после срабатывания.

На рис. 3 показаны графики перемещения ползуна, перемещения штока насоса, давления жидкости в рабочем цилиндре и осадки пружины при зарядке предохранительного устройства.

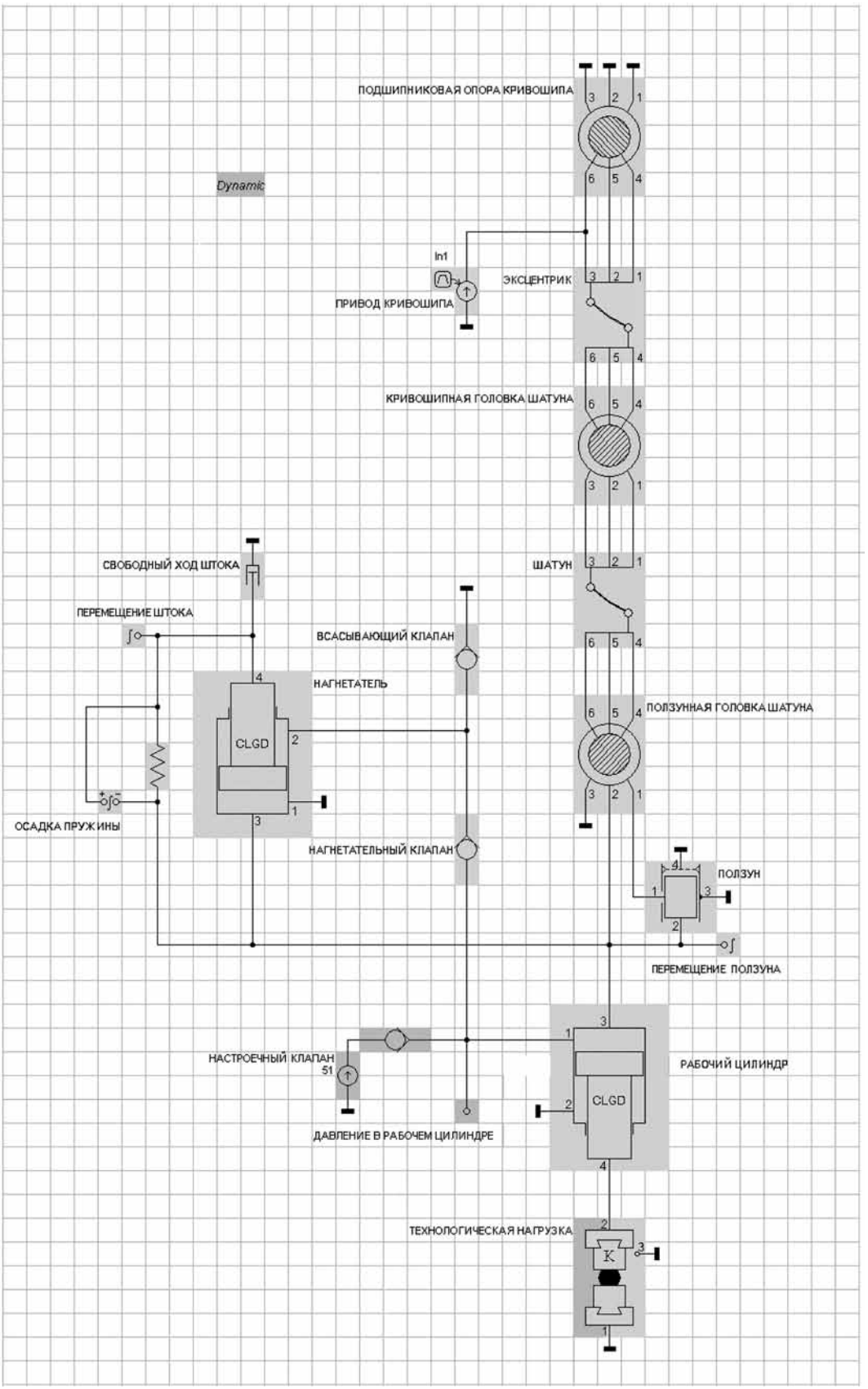


Рис. 2. Топология кривошипного горячештамповочного пресса с предохранительным устройством

1. Поэлементное соответствие гидрокинематической схемы и топологии

Номер элемента на схеме	Элемент	Обозначение элемента(ов) на топологии	Имена привлеченных моделей [2]
—	Привод кривошипа	ПРИВОД КРИВОШИПА	VU
—	Подшипниковая опора кривошипа	ПОДШИПНИКОВАЯ ОПОРА КРИВОШИПА	SHARN2
—	Эксцентрик (кривошип)	ЭКСЦЕНТРИК	BALKA2
—	Кривошипная головка шатуна	КРИВОШИПНАЯ ГОЛОВКА ШАТУНА	SHARN2
3	Шатун	ШАТУН	BALKA2
—	Ползунная головка шатуна	ПОЛЗУННАЯ ГОЛОВКА ШАТУНА	SHARN2
1	Ползун	ПОЛЗУН	NPR
11	Упор штока насоса	СВОБОДНЫЙ ХОД ШТОКА	UPRL
4, 6, 7	Насос	НАГНЕТАТЕЛЬ	CLGD
8	Всасывающий клапан насоса	ВСАСЫВАЮЩИЙ КЛАПАН	KLOBGD
9	Нагнетательный клапан насоса	НАГНЕТАТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН	KLOBGD
5	Пакет тарельчатых пружин	ПРУЖИНА	K
10	Настроечный клапан	НАСТРОЕЧНЫЙ КЛАПАН	V, KLOBGD
2	Рабочий цилиндр	РАБОЧИЙ ЦИЛИНДР	CLGD
—	Сила на ползуне	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА	TNGK

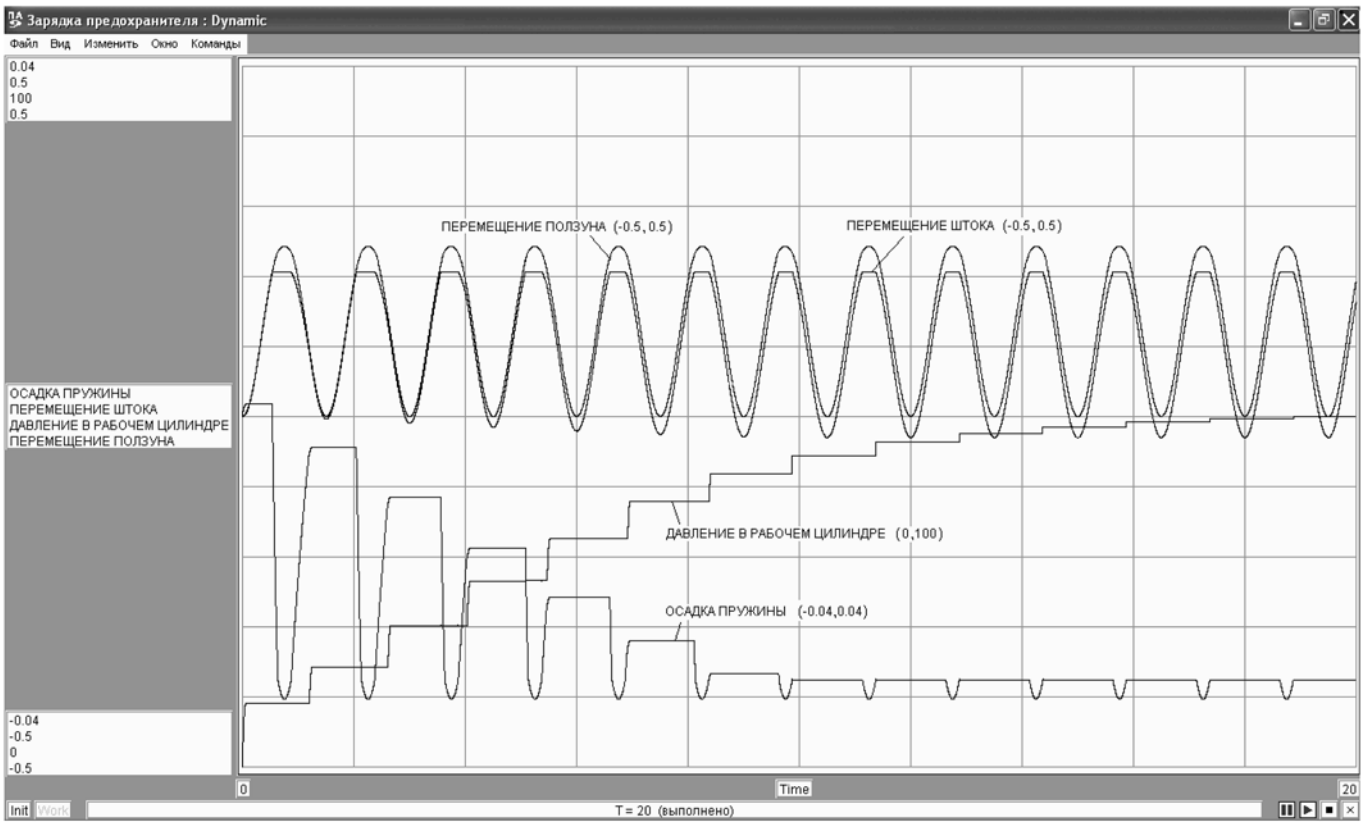


Рис. 3. Зарядка предохранительного устройства

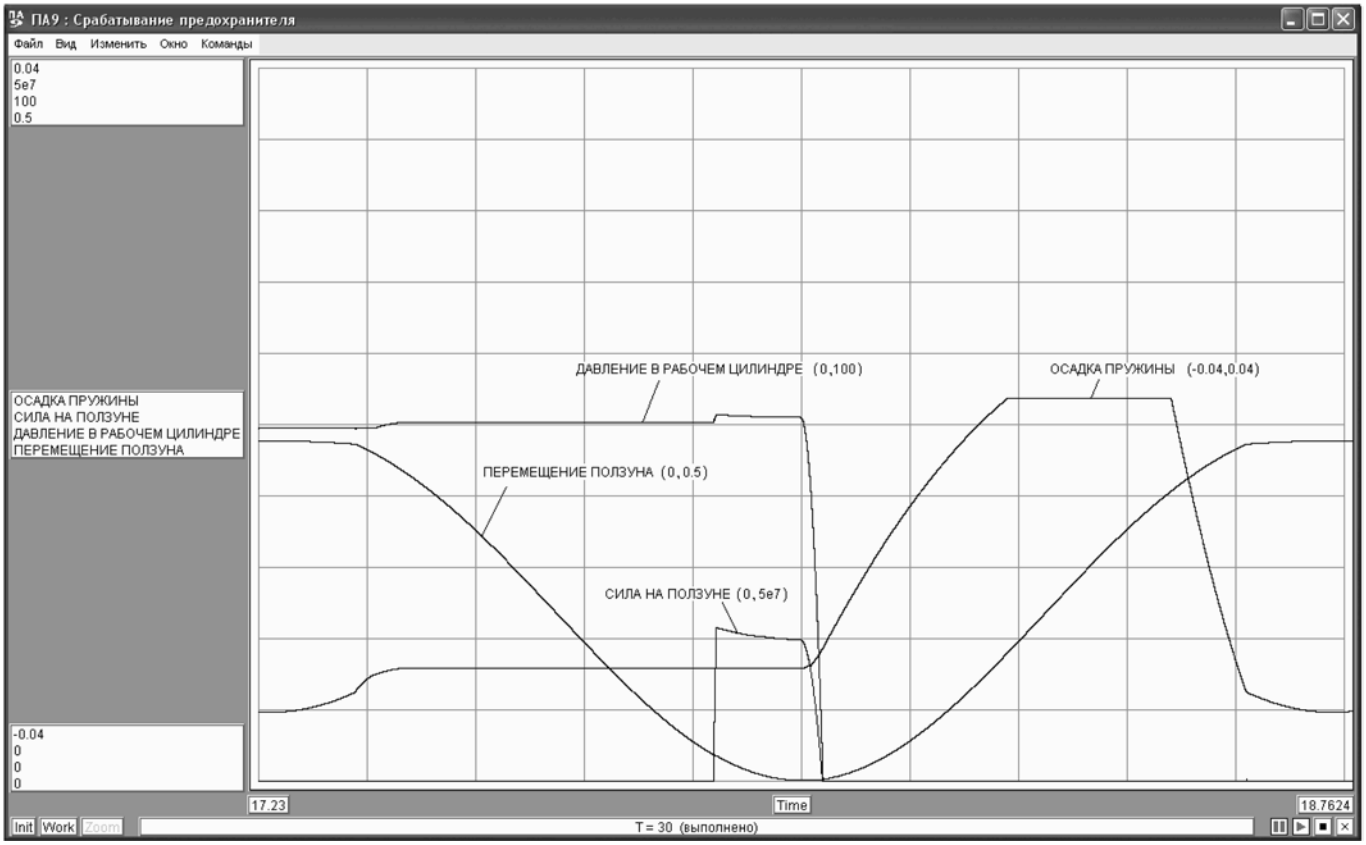


Рис. 4. Перегрузка и срабатывание предохранительного устройства

Масштабы переменных задаются их числовыми значениями на верхней и нижней границах поля графиков и указаны в верхнем и нижнем окне в левой части рисунка. Из графиков следует, что зарядка предохранительного устройства до рабочего давления осуществляется за 12 ходов ползуна. По мере выполнения зарядки происходит увеличение осадки пружины, а шток с каждым ходом ползуна занимает все более низкое положение, в результате чего зарядка прекращается.

2. Перегрузка пресса при различных значениях ошибки регулировки штамповой высоты

Ошибка наладки, мм	Сила на ползуне, МН	Перегрузка, %
1,0	10,45	4,5
2,5	10,53	5,3
5,0	10,64	6,4
7,5	10,76	7,6
10,0	10,87	8,7

На рис. 4 показаны графики перемещения ползуна, давления жидкости в рабочем цилиндре, силы на ползуне и осадки пружины при перегрузке пресса и срабатывании предохранителя. В качестве причины перегрузки принята ошибка при регулировке штамповой высоты пресса, когда последняя установлена меньше высоты штампа.

Результаты моделирования показаны для случая ошибки регулировки, равной 10 мм. При этом пресс оказался нагруженным силой 10,87 МН, что на 8,7 % больше номинальной силы. Резуль-

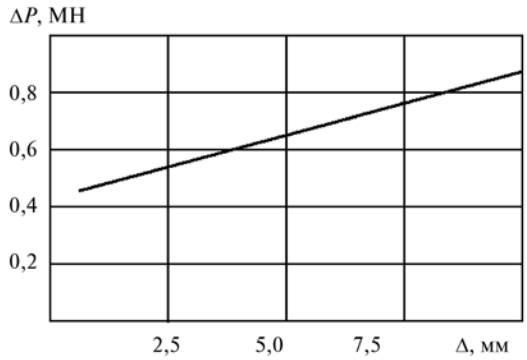


Рис. 5. Зависимость перегрузки ΔP предохранительного устройства от ошибки наладки Δ

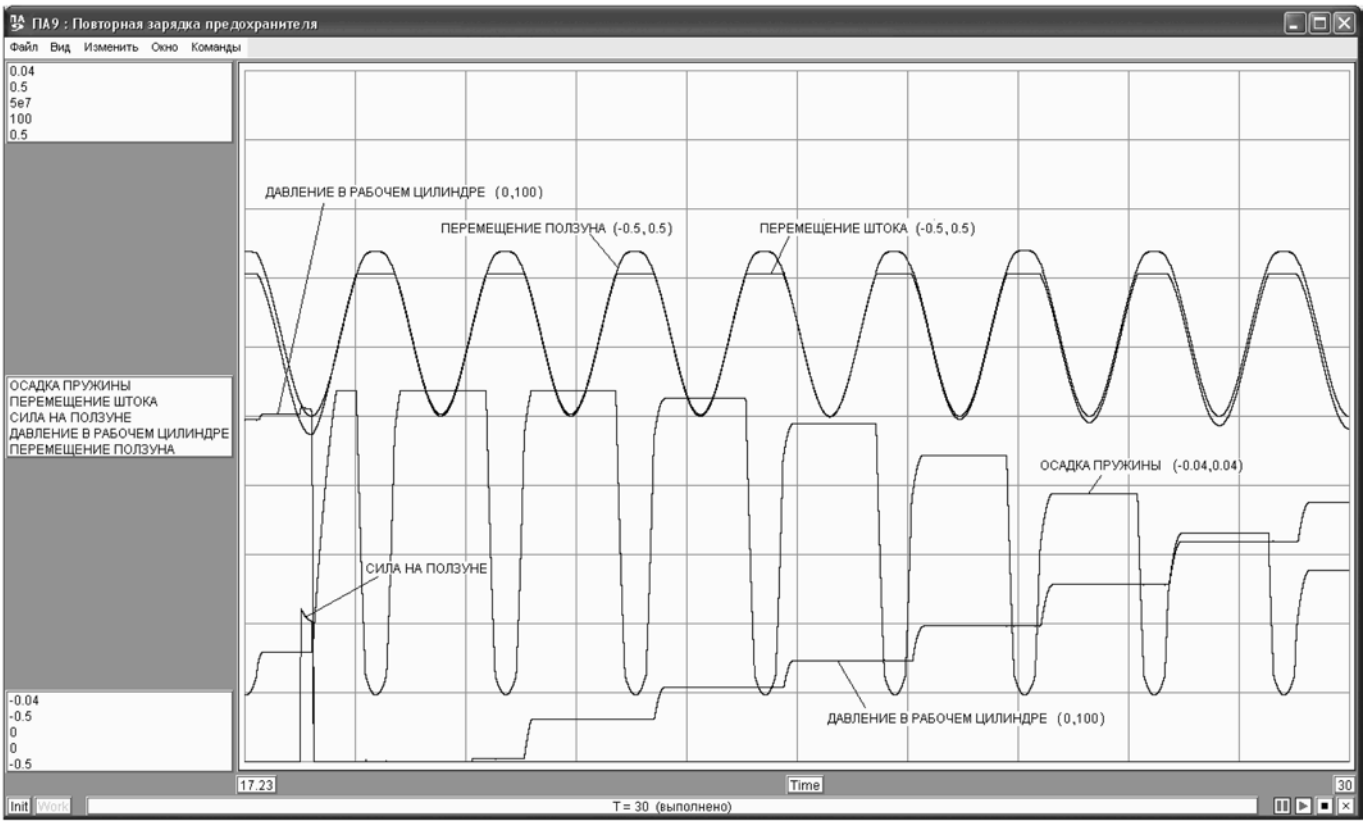


Рис. 6. Срабатывание предохранительного устройства и его последующая зарядка

таты моделирования для других значений ошибки регулировки штамповой высоты приведены в табл. 2, графики зависимости перегрузки пресса от ошибки регулировки штамповой высоты — на рис. 5.

На рис. 6 показаны те же графики, что и на рис. 3 при срабатывании предохранительного устройства и последующей его зарядки после срабатывания. Из приведенных графиков следует, что после срабатывания предохранительного устройства при выполнении ползуном нескольких ходов без штамповки происходит его новая зарядка, что подтверждает возможность самовосстановления предохранительного устройства.

Выводы

1. Предохранительное устройство обеспечивает допустимую перегрузку кривошипных горячештамповочных прессов.

2. Предохранительное устройство обладает способностью самовосстановления после срабатывания при перегрузке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Свистунов В.Е.** Кузнечно-штамповочное оборудование. Кривошипные прессы: учеб. пособие. М.: МГИУ, 2008.

2. **Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н.** Кузнечно-штамповочное оборудование: учеб. для вузов / под ред. Л.И. Живова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.

Евгений Николаевич Складчиков, д-р техн. наук,
ens_0@mail.ru;
Ирина Алексеевна Панова;
Сергей Сергеевич Трух

УДК 621.771

Э. Гецци, Л. Евдокимова
(*S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions, Италия)*

Технологии и оборудование для накатки резьбы и профилей компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions"

Представлен обзор технологий и оборудования для накатки резьбы и профилей итальянской компании "S.M.A.R.T. Treadrolling solutions". Приведены примеры деталей, получаемых на оборудовании компании, основные особенности и преимущества резьбонакатных и фаскосъемных автоматов (системы настойки и позиционирования, механизм заталкивания, система смазки, использование технологии прямого привода "Direct Drive").

Ключевые слова: накатка резьбы и профилей; резьбонакатное оборудование; оборудование для обработки фасок.

Technologies and equipment for thread and profile rolling of Italian company "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" is presented. Examples of parts produced on the equipment of the company, the main features and advantages of equipment for thread and profile rolling (systems of tincture and positioning, the mechanism of pushing-in, the lubrication system, use of the direct drive technology "Direct Drive") are given.

Keywords: thread and profile rolling; equipment for thread and profile rolling.

Компания "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" (Италия) производит современное высококачественное резьбонакатное оборудование и оборудование для снятия фаски (диаметр обрабатываемых изделий от 1 до 36 мм, длина накатываемой резьбы до 160 мм).

На рис. 1—3 представлены примеры деталей с резьбой, получаемой на оборудовании компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions".

В конструкциях резьбонакатных автоматов компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" использованы разработки фирмы, аналогов которых нет в подобном оборудовании других производителей. При этом резьбонакатное оборудование компании работает на предприятиях ведущих европейских изготовителей крепежа уже в течение длительного времени и постоянно совершенствуется. На рис. 4 показаны примеры резьбонакатных автоматов компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions".

а) *б)*

Рис. 1. Примеры болтов, накатанных на машине мод. NGW70:

а — М36×200, длина резьбы 90 мм, производительность 50...60 шт./мин; *б* — М36×85, длина резьбы 50 мм, производительность 65...70 шт./мин

Особенностью накатных автоматов является электронная система настройки инструмента и контроля за параметрами резьбы, который осуществляют с монитора. При этом система позволяет проводить настройки параметров в полуавтоматическом режиме, сводя к минимуму ошибки наладчика. Все настройки могут быть внесены в память компьютера и при следующем изготовлении подобного изделия могут использоваться как эталонные параметры с возможностью внесения некоторой коррекции.

Система настройки инструмента оснащена линейными двигателями (сервоприводов), которые обеспечивают точное линейное и угловое позиционирование плашек и заготовки. Это значительно ускоряет процесс наладки резьбонакатного автомата. Движение ползуна осуществляется серводвигателем с электронным контроллером, что дает возможность регулировать зону захвата изделия на работающем автомате и позволяет изготовлять сверхточные резьбовые изделия с допуском ±0,02 мм.

Основной особенностью резьбонакатного оборудования "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" является использование высокоточных линейных двигателей для управления настройки инструмента и ввода — заталкивания заготовки. Было спроектировано точное и надежное заталкива-

Рис. 2. Примеры деталей, накатанных на машине NGW60:
а — болт М16×300, длина резьбы 140 мм, производительность 50 шт./мин; *б* — болт М16×240, длина резьбы 160 мм, производительность 70 шт./мин; *в* — болт М20×200, длина резьбы 140 мм, производительность 70 шт./мин; *г* — винт диаметром 12,2 (шаг 8 мм)×240, длина резьбы 65 мм, производительность 65 шт./мин; *д* — винт диаметром 12,5 (шаг 8 мм)×110, длина резьбы 80 мм, производительность 80 шт./мин

ющее устройство, установленное уже на 130 единицах оборудования компании. Конструкция заталкивающего устройства защищена международным патентом.

Систему ввода-заталкивания устанавливают на все оборудование компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" (резьбонакатные и фаскосъемные автоматы). Конструкция системы обеспечивает отсутствие износа и шума, а также

Рис. 3. Примеры изделий с конической наружной резьбой, изготовленные на машине NGPS

необходимости в постоянной переналадке и обслуживании. Динамика цикла заталкивания гарантирует повторяемость кинематического цикла (рис. 5), точность позиционирования (до 0,01 мм), простоту регулировок, надежность в эксплуатации, высокую производительность (система ввода "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" на машине NGS гарантирует 750 цикл/мин) по сравнению с традиционной механической системой заталкивания заготовки.

Предлагаемые компанией "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" сервомеханизмы проводят позиционирование и настойку инструмента в начале цикла с точностью до 0,01 мм, что увеличивает качество изготовляемых деталей, повышает производительность и срок службы рабочего инструмента до 3 раз по сравнению с традиционной конструкцией механизма позиционирования.

При этом сервоприводы используют для настройки и регулировки других систем и механизмов оборудования "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions": вертикальных направляющих подачи при загрузке деталей, регулировки винтов, позиционирования блокировки держателя рабочего инструмента.

Система смазки машин "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions", снабженная установкой высокого давления, обеспечивает наличие смазки во всех рабочих зонах станка. Специальная система подачи обеспечивает раздельную циркуляцию охлаждающей жидкости. Система фильтров позволяет повторно использовать смазку в течение длительного периода времени.

Одна из последних разработок компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" — фаскосъемный автомат мод. NP 14. Данная машина, изначально управляемая механическими кулачками, была полностью переделана, в частности, была изменена система подачи заготовок. При этом в данной машине предлагается применение только линейных серводвигателей, а именно — использование возвратно-поступательного движения между ними. Такое техническое решение позволило создать собственные рабочие циклы.

График моделирования профиля кулачков дает возможность запомнить движение главной головки (рабочий проход) и силу захвата пинцетами заготовки непосредственно на сенсорном экране (рис. 6). С помощью некоторых регулировок стало возможным обрабатывать некоторые материалы (например, титановые и никелевые сплавы).

Преимуществом линейных моторов над механическими механизмами является контроль над

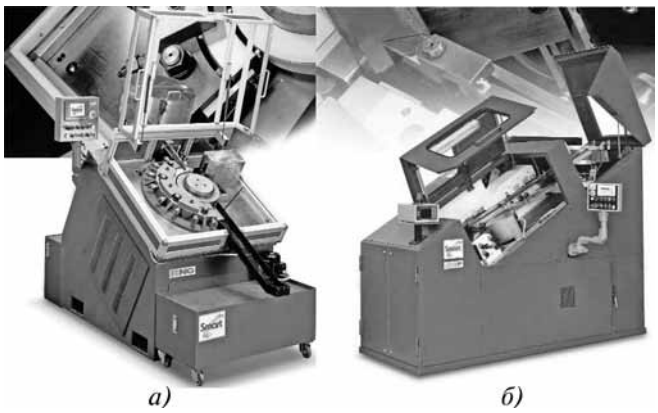


Рис. 4. Резьбонакатные автоматы компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions":

а — автомат с ролик-сегментом мод. RNG; *б* — автомат с плоскими плашками мод. NG

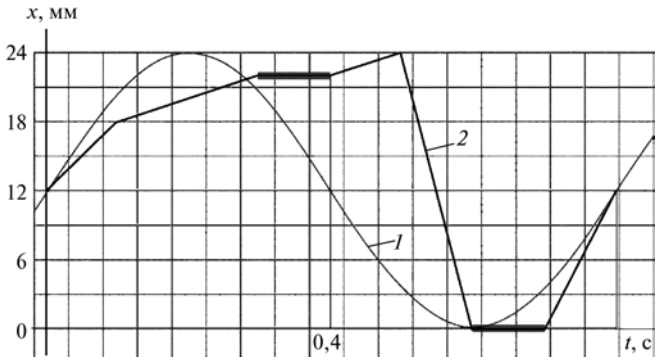


Рис. 5. Циклограммы процесса заталкивания изделия:

1 — традиционная механическая система заталкивания с пружиной; *2* — линейный мотор

синхронизацией движения основных механизмов автомата: заталкивателя, головки и пинцетов. Благодаря линейным моторам появилась возможность варьировать и задавать движение данных механизмов в зависимости от размеров обрабатываемой детали.

Одной из последних разработок компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" является применение технологии "Direct Drive" на основе использования приводных электродвигателей с большими стартовыми моментами, что позволило упростить кинематические цепи и обеспечить получение следующих преимуществ:

- высокая энергоэффективность, вызванная отсутствием потерь при использовании ремней, шестеренок, цепей;

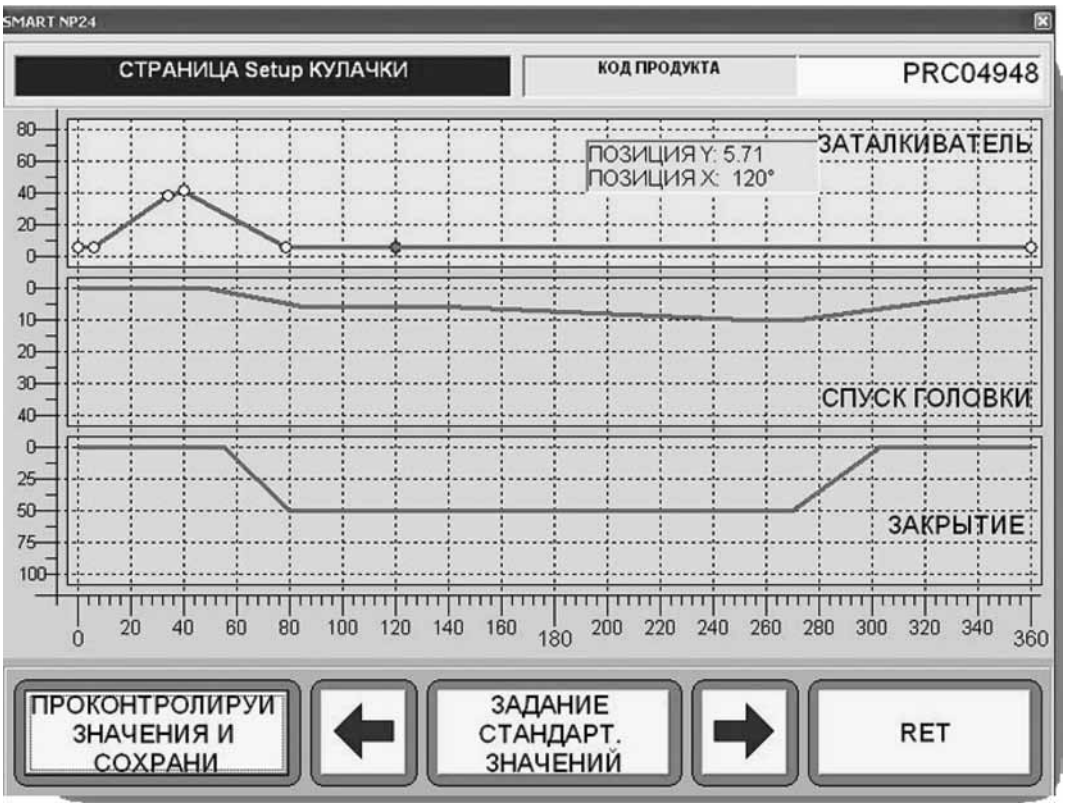


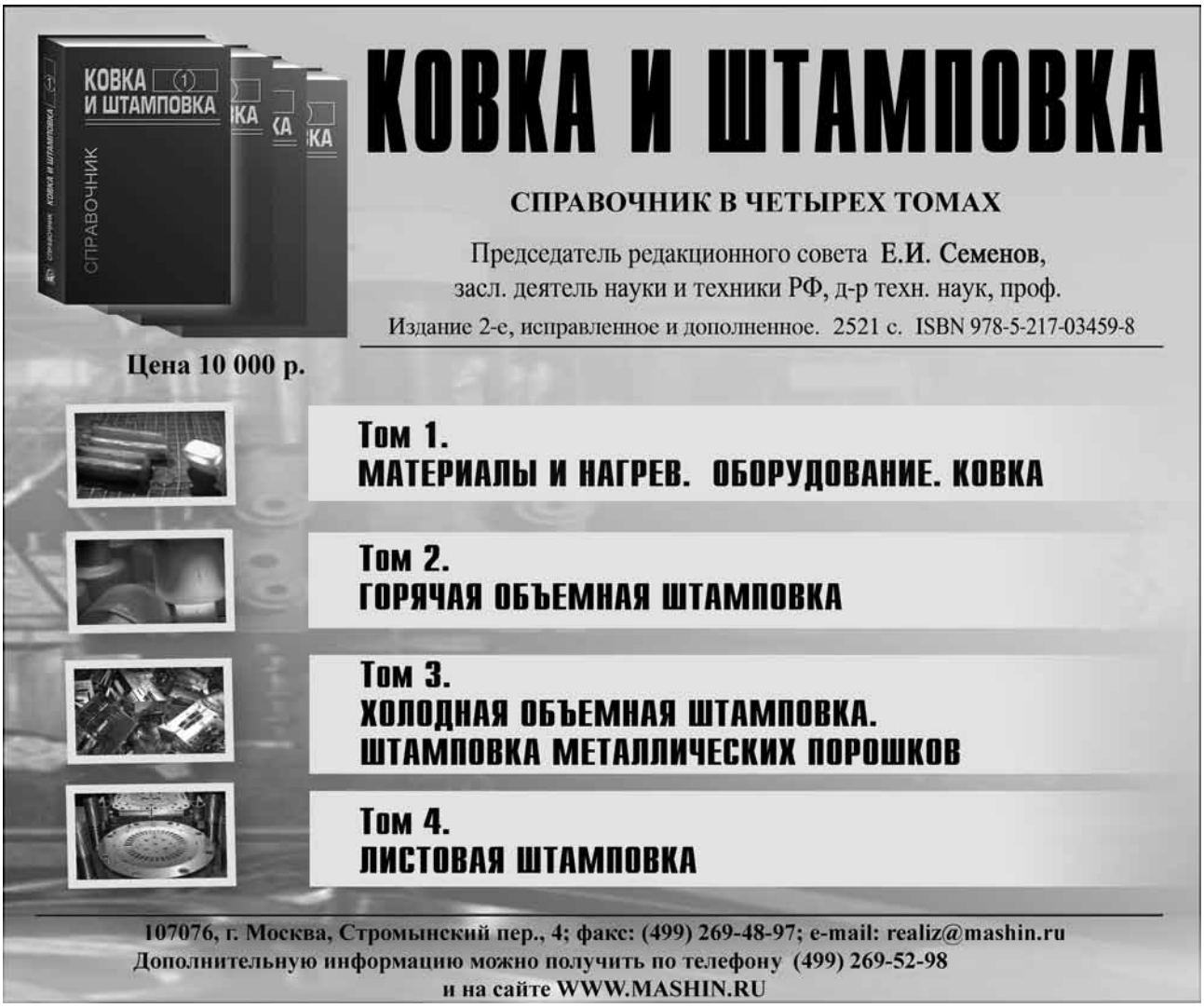
Рис. 6. Графическое отображение циклограмм движения механизмов фаскосъемного автомата мод. NP 14

- максимальный крутящий момент, даже при нулевой скорости;
- отсутствие шумов и вибрации;
- большой срок эксплуатации, обусловленный небольшим числом движущихся частей;
- быстрое и точное позиционирование. Высокий крутящий момент и низкая инерция уменьшают время позиционирования на постоянных магнитах синхронных сервоприводов;
- лучший контроль каждого отдельного цикла продукции.

Очевидно, что данные характеристики имеют первостепенное значение как для резьбонакатного оборудования с плоскими плашками, так и для машин с ролик-сегментом. В частности, доступность максимального крутящего момента при крайне низких скоростях позволяет оператору легко провести настройку, контролируя цикл ввода заготовки и накатки резьбы. Отсутствие других кинематических органов резко снижает уровень шума, а также позволяет избежать вибрации, вредной для компонентов машины.

Технология "Direct Drive" была запатентована компанией в 2003 г. Изначально данную технологию применяли только для планетарных машин, но с 2005 г. подобные конструкции также используются для оборудования с плоскими плашками больших размеров. В настоящее время все оборудование компании "S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions" основано на использовании технологии "Direct Drive".

Энрике Гецци, генеральный директор;
Любовь Евдокимова, менеджер,
commerciale@smartmachine.it



УДК 621.771

В.Н. Перетятько *(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк),*
С.В. Сметанин *(ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк)*

Исследование напряженного состояния металла при прокатке в четырехвалковых разрезных калибрах

Приведены результаты исследования напряженного состояния металла при прокатке в четырехвалковых разрезных калибрах. Проведены оценки распределения полей интенсивности напряжений и полей коэффициента запаса пластичности металла при разрезке головки профиля в чистовой группе клетей, а также распределения сил прокатки от вертикальных роликов.

Ключевые слова: четырехвалковый калибр; трамвайные рельсы; деформация металла; интенсивность напряжений; коэффициент запаса пластичности.

Results of research of tension of metal are resulted due to rolling in four rollers cutting calibres. The estimations of distribution of fields of intensity of pressure and distribution of fields of plasticity reserve factor of metal are made due to cutting of profile heads in fair group of cages. The estimation of distribution of rolling efforts from vertical rollers is made.

Keywords: four-roll caliber; tram rails; metal deformation; stress intensity; plasticity reserve factor.

Определение напряжений в объеме деформируемого раската при прокатке в четырехвалковых калибрах является одной из основных задач, решение которой позволяет получить оптимальную технологию производства профиля с точки зрения заданных геометрических параметров, высокого качества, требуемых физико-механических свойств и рационального использования энергосиловых параметров прокатки.

Наиболее наглядным показателем, определяющим объемное напряженное состояние металла, является распределение значений интенсивности напряжений в поперечном сечении раската. Поэтому для определения рациональных режимов пластических деформаций проведено математическое моделирование напряженного состояния металла в чистовой группе клетей при прокатке трамвайных желобчатых рельсов.

Цель исследования — разработка оптимальной технологии прокатки трамвайных желобчатых рельсов в чистовой группе клетей.

Исходя из цели исследования были определены задачи исследования:

— оценить возможность использования технологии прокатки рельса Т62 по имеющейся калибровке на основе анализа напряженного состояния металла;

— провести оценку запаса пластичности металла в целях изыскания резерва пластичности для улучшения качества оформления геометрии профиля;

— оценить эффективность энергосиловых параметров прокатки;

— по итогам проведенного анализа определить проблемные области и предложить пути их решения.

Исследование имеющейся калибровки проводили с использованием математического компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D в соответствии с основами механики сплошных сред. Образование желоба осуществляется за четыре прохода, которые распределены по клетям *UR* (*UR*1, *UR*3, *UR*4) и *UF*. Калибры четырехвалковые с двумя горизонтальными приводными валками диаметром 1200 мм и двумя вертикальными неприводными роликами диаметром 800 мм, скорость прокатки 3,5 м/с.

По итогам проведенных расчетов были получены результаты по распределению интенсивности напряжений при прокатке с образованием желоба в клетях Tandem.

В связи с тем, что более 55 % (45 мм на разрезку при ширине желоба 29 мм) при разрезке головки приходится на первый пропуск, поэтому результаты исследований приведены для *UR*1.

В теории пластичности касательное октаэдрическое напряжение пропорционально квадратному корню из второго инварианта девиатора напряжений. Наряду с октаэдрическими напряжениями в теории пластичности используют пропорциональные им интенсивности напряжений. В зависимости от принятого коэффициента пропорциональности различают интенсивность нормальных напряжений:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\begin{matrix}(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+(\sigma_z-\sigma_x)^2+\\+6\left(\tau_{xy}^2+\tau_{yz}^2+\tau_{zx}^2\right)\end{matrix}},$$

где σ_x; σ_y; σ_z — нормальные напряжения;

τ_{xy}; τ_{yz}; τ_{zx} — касательные напряжения на площадках бесконечно малого элемента объема прямоугольного параллелепипеда.

Полученные значения интенсивности напряжений в первом пропуске *UR*1 показаны на рис. 1 (см. обложку). Распределение изолиний интенсивности напряжений в поперечном сечении имеет крайне неравномерную картину — это обусловлено геометрическими факторами калибра, вызываемыми особенностями профиля желобчатого рельса.

Максимальные значения интенсивности напряжений составляют σ_e = 160 МПа и соответствуют головке профиля, месту сопряжения шейки с подошвой профиля, а также зоне по шейке в верхней ее части, т.е. в тех элементах профиля, где метал находится в стесненных условиях.

Зоны с минимальным значением интенсивности напряжений соответствуют головке профиля в верхней и нижней ее части относительно оси желоба на некотором удалении от разрезного ролика и горизонтальных валков. С удалением от поверхностных слоев в зоне контакта разрезного ролика значения интенсивности напряжений уменьшаются, такую же закономерность наблюдали при анализе распределения полей интенсивности деформаций.

При отдельном рассмотрении распределения значений напряжений в горизонтальной плоскости поперечного сечения раската от обжатия вертикальными роликами отмечено, что в поверхностных слоях металла желоба, в верхней его части, наблюдаются сжимающие напряжения σ_e = –266 МПа, объемы металла при этом находятся в зоне отставания, а по остальному сечению металла отмечаются растягивающие напряжения σ_e = 120 МПа.

В процессе моделирования был исследован один из основных факторов, влияющих на получение требуемого профиля — запас пластичности металла, определяющий вероятность образования поверхностных и внутренних дефектов проката. Критерий Кокрофта—Лэтэма рассчитывается по формуле

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}}\, d\bar{\varepsilon},$$

где $\bar{\varepsilon}$ — накопленная пластическая деформация;

$d\bar{\varepsilon}$ — приращение накопленной деформации;

σ^* — максимальное главное растягивающее напряжение;

$\bar{\sigma}$ — интенсивность напряжений.

На рис. 2 (см. обложку) представлено распределение изолиний запаса пластичности в поперечном сечении раската в первом пропуске клети *UR*. Значения степени использования запаса пластичности находятся в интервале D = 0,07...,14 и располагаются в трех зонах.

В первой зоне максимальные значения D = 0,14 соответствуют поверхностным слоям металла в местах контакта с вертикальным роликом, фор-

мирующим головку по боковым радиусам разрезного гребня.

Во второй зоне (на средних участках шейки профиля) по поверхности металла запас пластичности составляет $D = 0{,}12$.

В третьей зоне минимальные значения $D = 0{,}08$ — это наружные радиусы по подошве профиля со стороны шейки и радиус сопряжения боковой поверхности головки с внутренней ее частью.

Указанные зоны по элементам профиля имеют максимальные значения, в которых осуществляются интенсивные деформации со значительными объемами смещаемого металла.

Распределение запаса пластичности напрямую зависит от распределения интенсивности напряжений по сечению металла.

При прокатке в четырехвалковых рельсовых калибрах со стороны вертикальных роликов, формирующих подошву и головку профиля, действуют различные силы прокатки, что неблагоприятно сказывается на стабильности прокатываемого профиля с точки зрения позиционирования горизонтальных валков, сопровождающееся дополнительными настройками калибра, и неэффективном использовании мощности привода клети, которая расходуется на деформацию опорных узлов горизонтальных валков по направлению, соответствующему большей деформирующей силе [1, 2].

Под термином "сила прокатки" понимают равнодействующую всех нормальных сил и сил трения, приложенных к деформированному металлу со стороны валков. Силу прокатки P, исходя из закономерностей распределения нормальных напряжений p и напряжений трения t по дуге контакта, с некоторым приближением можно выразить уравнением [3]:

$$P = b\left[\begin{array}{l}\int\limits_0^{\alpha} p\dfrac{dx}{\cos\alpha_x}\cos\alpha_x + \\ +\int\limits_{\gamma}^{\alpha} t\dfrac{dx}{\cos\alpha_x}\sin\alpha_x - \int\limits_0^{\gamma} t\dfrac{dx}{\cos\alpha_x}\sin\alpha_x\end{array}\right],$$

где b, α, γ — ширина полосы, угол контакта и нейтральный угол при прокатке соответственно.

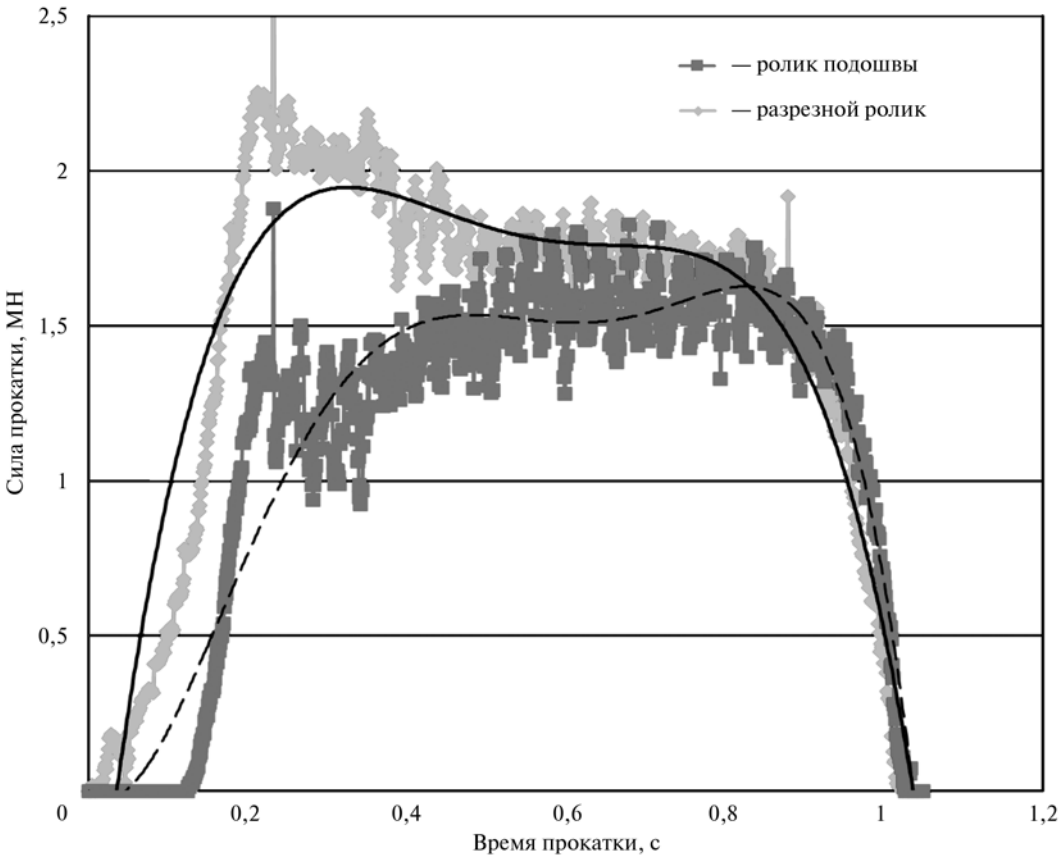


Рис. 3. График распределения сил прокатки на вертикальных роликах в первом пропуске *UR*1

По результатам компьютерного моделирования были получены графики изменений сил деформации по головке и подошве рассматриваемой заготовки (рис. 3). Как видно из рис. 3, изменение сил деформации по головке и подошве желобчатого рельса на этапе внедрения вертикальных роликов в металл имеет линейную зависимость от глубины внедрения деформирующих роликов. Были определены линии тренда степенных зависимостей второго и четвертого порядков с высокой степенью аппроксимации по нахождению сил прокатки на вертикальных роликах клети *UR* в первом проходе.

Сила прокатки ролика со стороны головки (R^2=0,99):

$$P_{р.р} = -39\,779\,611x^4 + 87\,775\,050x^3 - 69\,723\,079x^2 + 22\,992\,473x - 730\,504;$$

сила прокатки ролика со стороны подошвы (R^2 = 0,85):

$$P_{г.р} = -87\,904\,734{,}59x^5 + 213\,884\,800{,}75x^4 - 182\,707\,317{,}52x^3 + 59\,837\,875{,}11x^2 - 2\,416\,541{,}24x,$$

где x — глубина внедрения разрезного ролика, мм;

R^2 — средняя квадратичная ошибка аппроксимации.

Силы прокатки в четырехвалковом калибре в первом пропуске *UR*1 распределяются следующим образом (средние значения): 1,5 МН — силы прокатки на разрезной ролик; 1,1 МН — силы прокатки на ролик подошвы; 2,4 МН — силы прокатки на горизонтальных валках.

Из проведенных расчетов по силам прокатки в четырехвалковом калибре *UR*1 в горизонтальной плоскости от обжатий вертикальными роликами видно, что существует значительная неравномерность сил прокатки. Первым с металлом соприкасается разрезной ролик, через некоторое время происходит деформация роликом со стороны подошвы. На этапе входа раската в калибр имеется значительное отличие по силам, которое сохраняется и в установившемся процессе прокатки. Разница в силах прокатки между разрезным роликом и роликом со стороны подошвы составляет 30...35 %. Это объясняется значительной разностью по обжатиям элементов профиля со стороны головки и подошвы.

Для определения адекватности полученных результатов компьютерного моделирования были проведены исследования по замеру фактических сил прокатки в непрерывной группе чистовых клетей РБЦ ОАО "ЕВРАЗ ЗСМК" по имеющейся технологии прокатки. Были получены графики распределения сил прокатки на горизонтальных и вертикальных валках в четырехвалковых калибрах универсальных клетей *UR*, *UF* и дуоклети *Edger*. На рис. 4 представлены действительные силы прокатки в четырехвалковых калибрах клети *UR*1.

В первом проходе средняя действительная сила прокатки в клети *UR*1 на горизонтальных валках (см. рис. 4, *а*) составляет P =2...2,6 МН. К концу полосы сила прокатки возрастает, что объясняется разностью температур по длине 50-метрового раската. При первом пропуске в Tandem-группе раскат одновременно находится в клети *UR* и *Edger*, которая работает в режиме дуо, где происходит обжатие по фланцам профиля.

На рис. 4, *б* представлено распределение сил прокатки от вертикального ролика по подошве, в среднем P = 1,05...1,25 МН.

На рис. 4, *в* сила прокатки от разрезного ролика составляет P = 1,5...1,8 МН. В табл. 1 приведены данные по соотношению расчетных и фактических данных по силам прокатки в калибре *UR*1.

По соотношению приведенных результатов видно, что погрешности в расчетах моделирования от фактических данных не превышают 10 %, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов. Наблюдается различие по форме графика распределения сил прокатки по экспериментальным и фактическим данным. В экспериментальных данных при входе раската наблюдается пик максимальных значений по силам — это объясняется тем, что раскат имеет значительную силу инерции, в результате чего раскат входит в калибр с ударом.

При рассмотрении промышленных результатов подобного не наблюдается исходя из того, что захват полосы осуществляется при скорости прокатки v = 1,75 м/с, поэтому ударов раската о валки практически не происходит, соответственно практически отсутствуют пиковые нагрузки при входе, а установившийся процесс прокатки идет со скоростью 3,5 м/с (см. рис. 4, *г*).

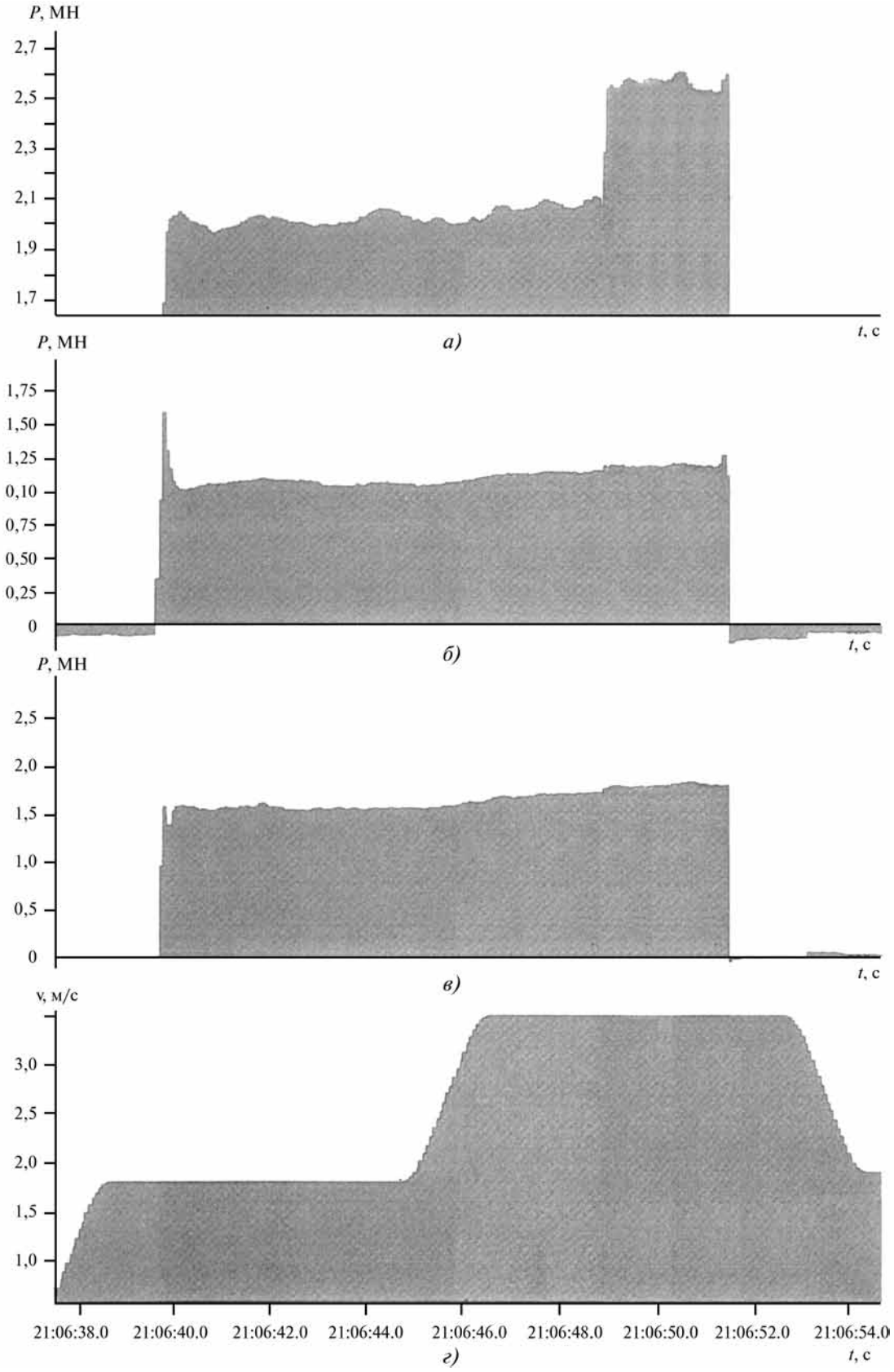


Рис. 4. Распределение действительных сил прокатки в четырехвалковом калибре клети *UR*1 в трех пропусках для двух раскатов рельса Т62:
а — горизонтальные валки; *б* — вертикальный ролик подошвы; *в* — вертикальный разрезной ролик головки; *г* — скорость прокатки

Расчетные и фактические значения сил прокатки

Валки	Сила прокатки, МН		Скорость прокатки, м/с	
	расчетная	фактическая	расчетная	фактическая
Горизонтальные валки	2,4	2,3	3,5	1,75 (захват)
Вертикальный ролик со стороны головки	1,5	1,65		
Вертикальный ролик со стороны подошвы	1,1	1,15		3,5 (установившийся процесс)

Таким образом, проведенное моделирование является адекватным, его возможно использовать в дальнейшем для моделирования процессов прокатки, а полученные результаты будут являться основанием для изучения напряженно-деформированных и энергосиловых параметров прокатки и выдачи рекомендаций по оптимизации промышленных технологий.

При проведении экспериментальных замеров сил прокатки в клетях *UR* и *UF* установлена неравномерность со стороны разрезного ролика по головке и гладкого ролика по подошве, причем в некоторых случаях разность значений по вертикальным роликам достигает двукратной величины, что говорит о наличии возможности перераспределения сил прокатки в левой и правой частях калибра, которые в данном случае затрачиваются на повышенный неравномерный износ опорных частей горизонтальных валков.

Заключение. Распределение интенсивности напряжений в поперечном сечении имеет крайне неравномерную картину, обусловленную геометрическими факторами калибра, вызываемыми его асимметрией в горизонтальной и вертикальной плоскостях, определяемыми особенностями профиля желобчатого рельса.

Несмотря на значительную неравномерность деформации, металл обладает значительным запасом пластичности, поэтому для рационального распределения сил прокатки возможно увеличение обжатий по элементам профиля без образования дефектов и нарушения сплошности металла.

Во всех пропусках непрерывной чистовой группы клетей существует значительная неравномерность по напряженному и деформированному состоянию металла.

Оценка компьютерного моделирования относительно промышленных результатов показала хорошую сходимость данных, что является подтверждением адекватности компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование возможно использовать в дальнейшем для изучения процесса прокатки, а полученные результаты будут являться основанием для выдачи рекомендаций по оптимизации промышленных технологий.

Углубленное изучение деформации металла при разрезке головки с образованием желоба и энергосиловых параметров прокатки в четырехвалковых калибрах с разрезкой по головке рельса для повышения производительности стана и качества выпускаемой продукции за счет рационального использования резервных сил привода прокатных клетей, является перспективным направлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Исследование** технологии прокатки трамвайных рельсов в рельсобалочном цехе ОАО "НКМК" / В.Н. Перетятько, С.В. Сметанин, и др.; Сиб. гос. индустр. ун-т // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. тр. Вып. 21. М.; Новокузнецк, 2008. С. 78—82.

2. **Деформация** металла в чистовом разрезном калибре при прокатке трамвайных желобчатых рельсов / В.Н. Перетятько, С.В. Сметанин и др. // Известия вузов. Черная металлургия. 2008. № 10. С. 68—69.

3. **Василев Я.Д., Минаев А.А.** Теория продольной прокатки: учебник для магистров вузов. Донецк: УНИТЕХ, 2010. 456 с.

Владимир Николаевич Перетятько, д-р техн. наук;
Сергей Васильевич Сметанин, канд. техн. наук,
Sergey.Smetanin@evraz.com

УДК 537.523.4

С.А. Пячин, А.А. Бурков *(Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения РАН)*

Формирование интерметаллидного покрытия электроискровым легированием алюминия титаном

Методом электроискрового осаждения титана на подложку из алюминиевого сплава получено $TiAl_3$-интерметаллидное покрытие. Изучены состав и свойства покрытия в зависимости от времени нанесения, длительности и частоты разрядных импульсов. Установлено, что за счет нанесения интерметаллидного покрытия износостойкость алюминиевого сплава можно увеличить в 4 раза.

Ключевые слова: электроискровое легирование; покрытие; интерметаллид; микротвердость; износостойкость.

Coating containing $TiAl_3$-intermetallic is fabricated by the electrospark deposition of titanium onto aluminum alloy. The composition and properties of the grown coating in dependence on deposition time, pulse duration and frequency are studied. It is found that the wear resistance of aluminum alloy can be increased in factor 4 by the application of the intermetallic coating.

Keywords: electrospark deposition; coating; intermetallic; microhardness; wear resistance.

Введение. Алюминиды титана обладают высокой температурой плавления, низкой удельной массой, высокой прочностью, стойкостью к окислению и возгоранию, создающими благоприятные условия для их применения в качестве перспективных конструкционных материалов.

Получение Ti—Al-интерметаллидов затруднено, что вызвано химической активностью металлов при высоких температурах, разностью плотностей и температур плавления исходных компонентов [1]. В результате разработка новых малозатратных технологий получения алюминидов титана, в том числе в форме функциональных покрытий остается актуальной задачей [2—5]. Известно, что взрывообразное диспергирование металлов при протекании мощных импульсов тока можно использовать для формирования покрытий, которые имеют высокую адгезию с подложкой [6, 7].

В данной работе для получения Ti—Al интерметаллидных покрытий применяли метод *электроискрового легирования* (ЭИЛ), который основан на воздействии кратковременных разрядных импульсов для плавления материала анода и переноса его на поверхность катода-подложки [8]. С помощью технологии ЭИЛ можно создавать покрытия практически из любых токопроводящих материалов, при этом нет необходимости использовать вакуумную систему.

Цель исследований — изучение возможности формирования алюминидов титана непосредственно на поверхности алюминиевого сплава путем электроискрового осаждения титана. Также определяли влияние времени нанесения и параметров разрядных импульсов на состав и свойства формируемых покрытий.

Методы получения и исследования покрытий. Технический титан в форме цилиндрического стержня диаметром 3 мм применяли в качестве анода. Катодами служили пластины размером $10 \times 10 \times 5$ мм^3 из алюминиевого сплава АМг2. Покрытия были получены с использованием электроискровой установки IMES-40 с возможностью регулирования частоты колебаний ручного электромагнитного вибратора – держателя анода от 100 до 400 Гц. Частоту вибратора подбирали

таким образом, чтобы исключить «схватывание» электродов при остывании участков поверхностей, расплавленных во время искрового разряда.

Осаждение титана осуществлялось при фиксированной длительности разрядов, которую выбирали из диапазона 80...400 мкс. Частота импульсов составляла 100; 250; 500 или 1000 Гц. Средняя амплитуда тока разрядов (100 ± 10) А; при этом межэлектродное напряжение (30 ± 5) В. Покрытия наносили в течение 2...20 мин в атмосфере воздуха нормального давления.

Микроструктуру покрытий исследовали с применением оптического микроскопа МИМ-10 и растрового электронного микроскопа EVO 40HV в режиме отраженных электронов. *Микрозондовый элементный анализ* (РСМА) проводили с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY 350, встроенного в электронный микроскоп. Фазовый состав поверхностных слоев металлов изучали методом *рентгеновской дифрактометрии* (РФА) с помощью дифрактометра ДРОН-7 в Cu K_α-излучении. Микротвердость образцов измеряли по методу Виккерса при нагрузке 0,5 Н.

Износостойкость покрытий исследована посредством испытаний на микроабразивный износ по схеме вращающийся шар—плоскость [9]. Во время триботехнических испытаний стальной шар диаметром R = 30 мм вращался с частотой вращения n = 90 об/мин. В качестве абразивного вещества использовали масляную эмульсию с микрочастицами корунда.

Износостойкость покрытия рассчитывали исходя из веса шара N, длины пути трения $l = 2\pi Rnt$ (t — общее время истирания) и объема кратера износа V, образующегося на поверхности испытуемого образца, по формуле

$$W = \frac{Nl}{V}.$$

Результаты исследований. На рис. 1 в качестве примера показано поперечное сечение титанового покрытия, нанесенного на алюминиевый сплав в течение 12 мин/см^2. Изображение получено с помощью сканирующего электронного микроскопа в режиме отраженных электронов. Видно, что осажденный слой отличается по структуре от подложки и состоит из смеси различных фаз.

Рентгеновские дифрактограммы электроискровых покрытий с разными продолжительностями осаждения титана представлены на рис. 2. Посредством идентификации линий дифракционных спектров с помощью картотеки PDF2 установлено, что наблюдаемые рефлексы соответствуют алюминию, интерметаллиду α-$TiAl_3$, а также

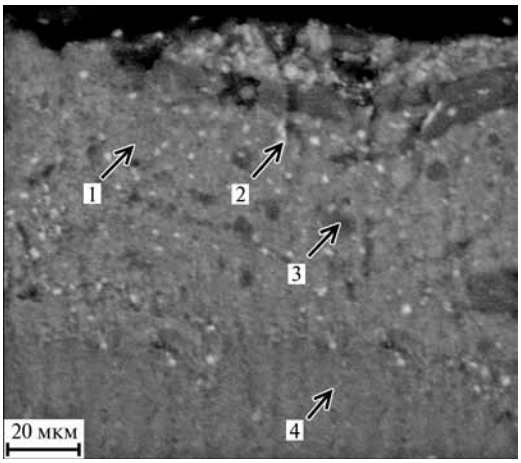


Рис. 1. СЭМ-изображение сечения титанового покрытия, осажденного на алюминиевую подложку:

1—4 — области, в которых определены концентрации элементов (табл. 1).

нитриду титана и оксиду алюминия. Линии титана в качестве отдельной фазы не наблюдаются. Присутствие соединений Al_2O_3 и TiN в титановом покрытии на алюминии является результатом активного взаимодействия металлов электродов с компонентами воздушной среды в условиях протекания разрядных импульсов.

Полученные электроискровые покрытия неоднородны по химическому составу, о чем свидетельствуют данные электронного микрозондового анализа. Концентрации элементов в разных областях осажденных слоев различаются (см. рис. 1, табл. 1).

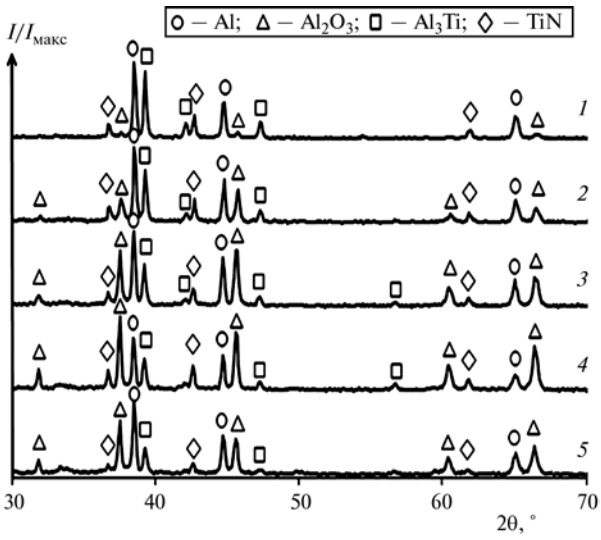


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы электроискрового покрытия титана на алюминии. Длительность импульсов 200 мкс; частота 500 Гц. Время нанесения:

1 — 2 мин; *2* — 6 мин; *3* — 10 мин; *4* — 16 мин; *5* — 20 мин

1. Концентрации элементов, % ат., в различных областях покрытия

Область по рис. 1	Al	Ti	Mn	Cu	Mg	Fe	N	O
1	63,1	19,4	—	1,3	—	0,9	–	15,3
2	17,8	26,1	0,4	1,3	—	0,5	27,9	26
3	46,8	3,4	—	—	1,9	—	—	47,9
4	95,7	—	0,4	2,1	1,1	0,7	—	—

2. Характеристики исходных материалов и покрытия в зависимости от удельной продолжительности его осаждения

Параметр	Анод Ti	Катод АМг2	Покрытие на катоде						
			Удельная продолжительность осаждения, мин/см^2						
			2	4	8	10	12	16	20
Средняя толщина, мкм	—	—	29	30	46	49	79	110	60
Микротвердость, ГПа	2,4	1,1	3,3	3,5	3,2	3,4	2,1	2,5	2,0
Износостойкость, мН · м/мм^3	3,8	1,9	3,7	4,2	3,9	4,3	6,6	7,5	2,2

Сопоставление результатов методов РФА и РСМА показало, что основу покрытий (области светло-серого цвета, см. рис. 1, т. 1) составляет сплав титана и алюминия, в котором среднее соотношение атомных концентраций Ti:Al ≈ 1:3 близко к отношению элементов в интерметаллиде α-$TiAl_3$. Концентрации сопутствующих элементов (Cu, Mg, Fe, Mn) — примесей исходного алюминиевого сплава — малы.

В покрытиях наблюдаются мелкие включения диаметром около 1...3 мкм (светлые пятна, см. рис. 1, т. 2) с повышенным содержанием титана. В данных областях концентрации титана и азота совпадают, что указывает на сосредоточение в них нитрида титана.

Участки осажденного слоя, окрашенные темно-серым цветом (см. рис. 1, т. 3), содержат в большом количестве оксид алюминия. Они имеют, как правило, вытянутую форму.

Для сравнения в т. 4 на рис. 1 измерено содержание элементов в подложке — алюминиевом сплаве АМг2.

Влияние времени нанесения покрытий на фазовый состав осажденного слоя можно проследить по анализу рентгеновских дифрактограмм (см. рис. 2). На них видно, что новые фазы помимо перечисленных выше не образуются, однако интенсивности линий TiN и Al_2O_3 увеличиваются с ростом удельного времени осаждения до 16 мин/см^2, а затем снижаются. Толщина покрытия изменяется аналогичным образом – вначале она увеличивается до 110 мкм, а далее уменьшается после 16 мин/см^2 (табл. 2).

Причина таких изменений заключается в накоплении структурных дефектов при многократном электроискровом воздействии вплоть до разрушения поверхностного слоя. Данный эффект известен как наступление "порога хрупкого разрушения", поэтому электроискровые покрытия необходимо наносить до момента его возникновения [8]. Фазовый состав покрытий не зависит существенно от длительности и частоты следования разрядных импульсов.

Микротвердость покрытий оценивали путем вдавливания четырехгранной алмазной пирамидки в участки поверхностей полученных образцов, при этом глубина отпечатков индентора не превышала толщины покрытий. Результаты измерений микротвердости осажденных слоев приведены в табл. 2. Видно, что она в 2—3 раза выше, чем у исходного алюминиевого сплава. Однако при удельном времени электроискровой обработки свыше 10 мин/см^2 наблюдается тенденция к снижению микротвердости осажденных слоев до 2 ГПа.

Стойкость покрытий к микроабразивному износу возрастает до 7,5 мН · м/мм^3 с ростом удельного времени осаждения, а затем скачкообразно падает примерно в 3 раза после 16 мин/см^2. Таким образом, оптимальное удельное время нанесения титана на алюминиевый сплав мето-

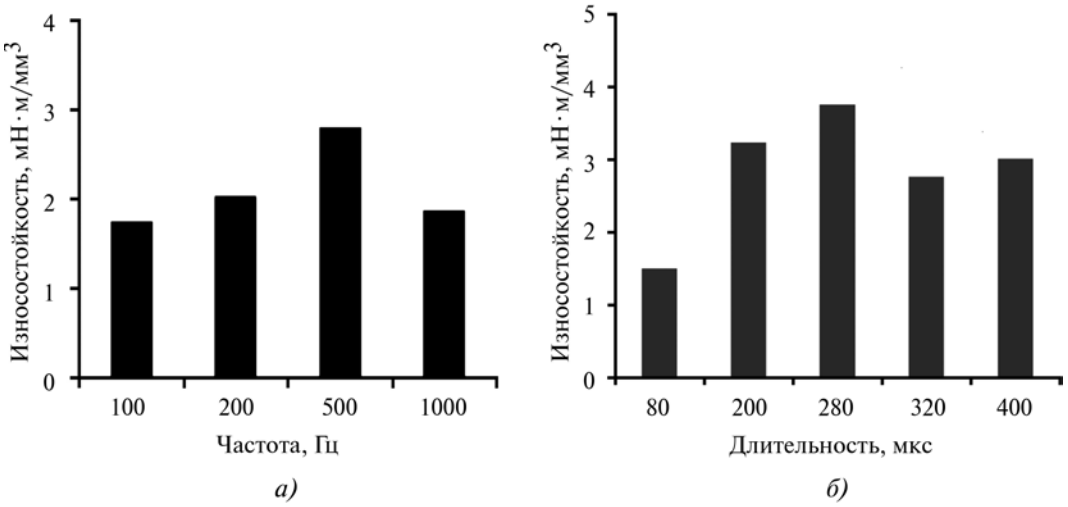


Рис. 3. Зависимости износостойкости покрытия от частоты (*а*) и длительности разрядов (*б*). Общее удельное время 10 мин/см^2

дом электроискрового легирования составляет 10...12 мин/см^2.

Сравнение результатов триботехнических испытаний покрытий, нанесенных при различных параметрах разрядных импульсов, показало (рис. 3), что повышение длительности и частоты импульсов улучшает износостойкость осаждаемых слоев вследствие увеличения количества интерметаллида $TiAl_3$ и нитрида титана. Однако сопротивление износу покрытий, созданных при более высоких частотах разрядов (1000 Гц) и продолжительностях разрядных импульсов (свыше 280 мкс), снижается, что связано, по-видимому, с накоплением структурных неоднородностей поверхностных слоев и их более быстрым разрушением. Максимальную износостойкость имеют покрытия, полученные при частоте 500 Гц и длительности разрядных импульсов 200...280 мкс.

Авторы выражают благодарность В.С. Комаровой (ИТиГ ДВО РАН) и Л.П. Метлицкой (ИМ ХНЦ ДВО РАН) за помощь в исследовании образцов.

Выводы

1. Электроискровым осаждением титана на алюминиевый сплав АМг2 в атмосфере воздуха сформировано покрытие, состоящее из интерметаллида α-$TiAl_3$ с включениями нитрида титана и оксида алюминия.

2. Оптимальное удельное время осаждения составляет 10...12 мин/см^2, при этом толщина покрытий достигает около 80 мкм.

3. Микротвердость интерметаллидного покрытия по сравнению с алюминиевой подложкой выше в 2—3 раза, а износостойкость — в 2—4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Wu X.** Review of alloy and process development of TiAl alloys // Intermetallics. 2006. Vol. 14. P. 1114—1122.

2. **Adachi S., Nakata K.** Improvement of adhesive strength of Ti–Al plasma sprayed coating // Surface & Coating Technology. 2007. Vol. 201. P. 5617—5620.

3. **PalDey S., Deevi S.C., Alford T.L.** Cathodic arc deposited thin film coatings based on TiAl intermetallics // Intermetallics. 2004. Vol. 12. P. 985—999.

4. **Ramos A.S., Calinas R., Vieira M.T.** The formation of g-TiAl from Ti/Al multilayers with different periods // Surface & Coatings Technology. 2006. Vol. 200. P. 6196—6200.

5. **Budilov V., Kireev R., Kamalov Z.** Intermetallic products formed by joint cold cathode vacuum arc sputtering of titanium and aluminium // Materials Science and Engeneering A. 2004. Vol. 375—377. P. 656—660.

6. **Budovskikh E.A., Gromov V.E., Romanov D.A.** The Formation Mechanism Providing High-Adhesion Properties of an Electric-Explosive Coating on a Metal Basis // Doklady Physics. 2013. Vol. 58. № 3. P. 82—84.

7. **Romanov D.A., Budovskikh E.A., Gromov V.E.** Surface Relief and Structure of Electroexplosive Composite Surface Layers of the Molybdenum-Copper System // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2011. Vol. 5. № 6. P. 1112—1117.

8. **Верхотуров А.Д.** Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995. 282 с.

9. **Kusano Y., Van Acker K., Hutchings I.M.** Methods of data analysis for the micro-scale abrasion test on coated substrates // Surface & Coating Technology. 2004. Vol. 183. P. 312—327.

Сергей Анатольевич Пячин, канд. физ.-мат. наук,
pyachin@mail.ru;
Александр Анатольевич Бурков, канд. физ.-мат. наук

УДК 669.1:519.23

А.С. Решенкин, А.В. Гончаров, А.Г. Тихомиров
(Донской государственный технический университет)

Обоснование применения *SN*-распределения для анализа параметров микроструктуры конструкционных сталей

Рассмотрен вопрос обоснования применения финитного SN-распределения для анализа параметров микроструктуры конструкционных сталей. Рассчитаны и построены распределения вероятности появления того или иного размера зерна феррита в зависимости от объема выборки. В отличие от традиционных методов анализа гипотезу об адекватности выбранного распределения предложено проверять методом регрессионного анализа.

Ключевые слова: микростуктура; феррит; модель; анализ; распределение.

The question to justify the use of finite SN-distribution for the analysis of microstructure parameters of structural steels is considered. Calculated and plotted the occurrence probability distribution of given grain size of ferrite, depending on the sample size. Unlike traditional methods of analysis of the hypothesis about the adequacy of the selected distribution invited to check in the regression analysis.

Keywords: microstructure; ferrite; model; analysis; statistical distribution.

Математическое моделирование в технике позволяет провести адекватную замену исследуемого процесса соответствующей математической моделью и её изучение методами вычислительной математики с применением вычислительной техники. Однако построение таких моделей должно быть хорошо обосновано.

Целью работы является обоснование применения финитного *SN*-распределения для анализа параметров микроструктуры конструкционных сталей.

В работе [1] выдвинуты предложения по статистической оценке параметров микроструктуры конструкционных сталей. На основе представленных экспериментальных исследований построены функциональные зависимости математических ожиданий линейных размеров зерен феррита от процентного содержания углерода в сталях и определена абсолютная ошибка результатов исследований.

Особенностью этого исследования является применение финитного *SN*-распределения, полученного проф. В.П. Котельниковым [2].

При обработке статистического материала необходимо было решить задачу выравнивания статистических рядов. Как правило, в большинстве случаев в металлографии для анализа параметров микроструктуры в качестве основного используется нормальный закон распределения. Однако в реальных образцах микрошлифов числовые характеристики измеряемых величин принимают конечный характер, определяемый законами материаловедения. В связи с этим более предпочтительным является использование финитных распределений. Наиболее удачным для этих целей является *SN*-распределение [2], преимуществом которого является возможность задания двух границ изменения случайной величины, что равносильно знанию еще двух моментов асимметричного распределения.

При использовании *SN*-распределения необходимо задание математического ожидания m, дисперсии D и пределов изменения случайной величины a и b.

В этом случае плотность и функция *SN*-распределения случайной величины u $(a < u < b)$ имеет вид (1):

$$f(u) = g(z(u))\frac{d}{du}z(u);$$
$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left(\int_{-\infty}^{z(u)} e^{\frac{-t^2}{2}}dt\right), \quad (1)$$

где

$$g(z(u)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z(u)^2}{2}};$$
$$z(u) = \gamma + \eta\nu.$$

Параметры формы распределения γ, η определяются следующими выражениями:

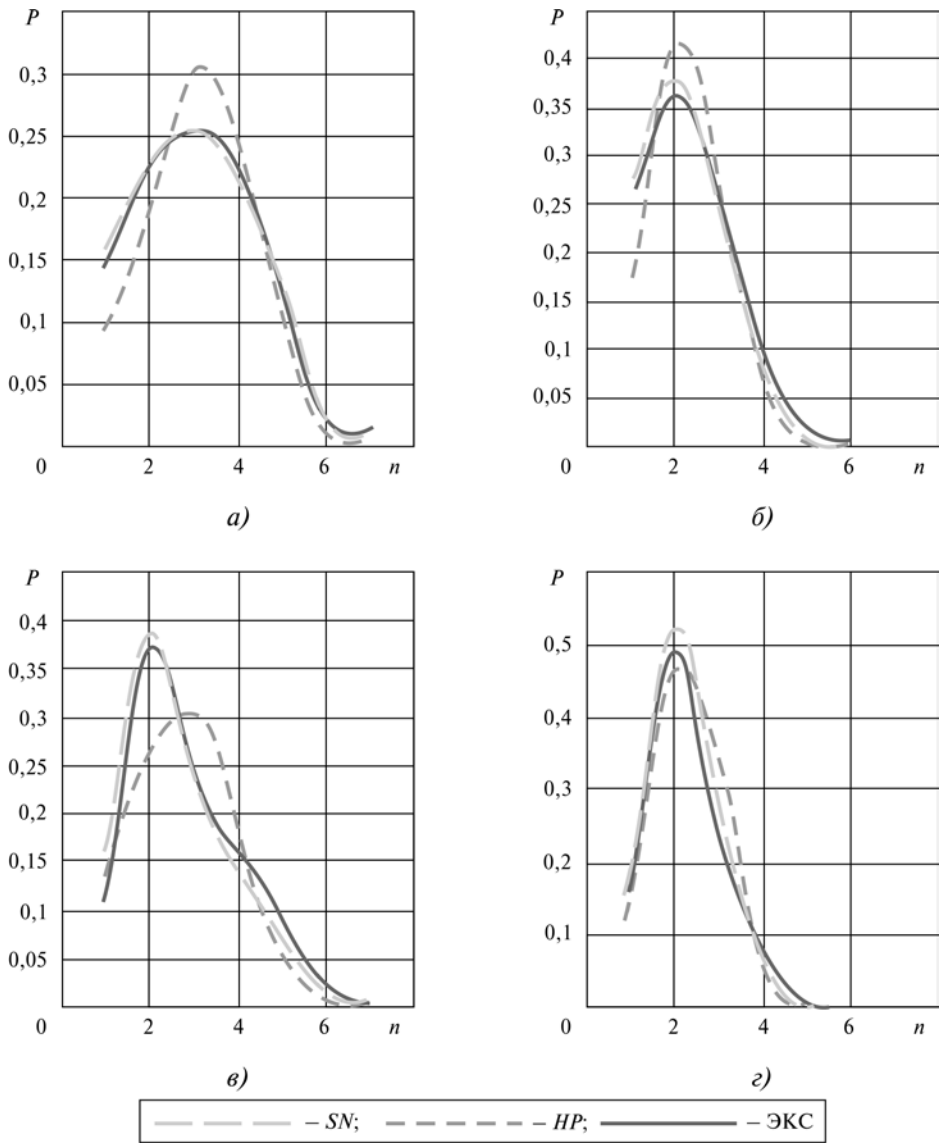
$$\eta = \left[\left(\frac{1}{\sin\left(\pi\frac{D}{2(b-m)(m-a)}\right)}\right)-1\right]^{0,5}; \qquad (2)$$

$$\gamma = -\nu\sqrt{\left(\eta^2+1\right)},$$

где ν — квантиль стандартного нормального распределения, вычисляемый по формуле Гастингса при уровне вероятности $p = (m - a)/(b - m)$.

В результате статистической обработки результатов измерений линейных размеров зерен феррита d рассчитаны и построены распределения вероятности появления того или иного размера зерна феррита в зависимости от объема выборки. На рисунке представлены полученные результаты, где: ЭКС — эмпирическая вероятность; *НР* — вероятность, соответствующая нормальному закону; *SN* — вероятность, соответствующая *SN*-распределению.

Для обоснования применения *SN*-распределения при анализе микроструктуры конструкционных сталей воспользуемся методом (см. кн.: Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовича, И. Стиган. М.: Наука, 1979. 832 с), согласно которому предложено отказаться от традиционной проверки согласования генеральных и эмпирических распределений по критериям χ^2, Колмогорова, ω^2 и их модифи-



Распределение вероятности для сталей 10 (*а*); 22 (*б*); 30 (*в*) и 40 (*г*)

кациям, а вместо этого при объемах выборок $n > 5$ гипотезу об адекватности проверять методом регрессионного анализа.

Оценки дисперсии адекватности представим в виде

$$S_a^2 = (n-m)^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left(p_i - \overline{p_i} \right)^2, \qquad (3)$$

где p_i — эмпирическая вероятность случайной величины;

$\overline{p_i}$ — предсказанная вероятность случайной величины;

m — число параметров генерального распределения.

Дисперсия эмпирической функции

$$S^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left(p_i - \overline{p_i} \right)^2, \qquad (4)$$

где $\overline{p_i} = n^{-1} \sum_{i=1}^{n} p_i$.

Для проверки с уровнем значимости α гипотезы H_0: $\sigma^2 = \sigma_a^2$ против альтернативной гипотезы H_1: $\sigma^2 > \sigma_a^2$ используют статистику $F = \frac{S^2}{S_a^2}$, распределение которой может иметь различный вид.

Так как распределение статистики F неизвестно, то для проверки адекватности предлагается использовать коэффициент детерминации:

$$d^* = \frac{S_a^2}{S^2}, \quad 0 \leqslant d^* \leqslant 1. \qquad (5)$$

При этом меньший коэффициент детерминации d^* свидетельствует о предпочтительности выбора закона распределения.

Используя для расчетов данные статистического анализа микроструктур из работы [1], по формулам (3)—(5) определим коэффициенты детерминации для сталей.

Коэффициенты детерминации при выборе нормального закона распределения и *SN*-распределения

Коэффициент детерминации	Сталь			
	10	22	30	40
d_{HP}^*	0,186	0,267	0,323	0,177
d_{SN}^*	0,039	0,067	0,114	0,086

В таблице представлены результаты расчетов.

Заключение. Расчеты показали, что во всех случаях $d_{SN}^* < d_{HP}^*$. Это позволяет сделать вывод о предпочтительности применения *SN*-распределения для статистического анализа микроструктур конструкционных сталей по сравнению с применяемым нормальным распределением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Решенкин А.С., Шаповалов А.П.** Статистическая оценка параметров микроструктуры конструкционных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 1. С. 44—46.

2. **Котельников В.П.** Предельное распределение суммы коррелированных случайных величин // Третья Всероссийская школа-коллоквиум по стохастическим методам. Тезисы докладов. М.: ТВП, 1996. С. 91—92.

3. **Котельников В.П.** О проверке согласования генеральных и эмпирических распределений // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. Вып. 1. С. 90—91.

Андрей Станиславович Решенкин, канд. техн. наук, reshenkin@list.ru;
Алексей Васильевич Гончаров;
Александр Григорьевич Тихомиров, канд. техн. наук

УДК 621.783(075.8)

А.В. Пожарский, Н.А. Кидалов, В.А. Гулевский
(Волгоградский государственный технический университет)

Разработка универсальной камерной печи для термической обработки отливок, штамповок и поковок

Разработана универсальная камерная пламенная печь для термической обработки отливок, штамповок и поковок, основанная на трех основополагающих способах увеличения коэффициента полезного действия тепловых агрегатов: применении принципа внутренней рекуперации тепла, установки акустических горелок и использовании струйных рекуператоров. Раскрыты теоретические основы воздействия указанных методов на повышение интегрального коэффициента теплопередачи в печи.

Ключевые слова: печь; термическая обработка; КПД; горелка; рекуператор; акустика.

Universal batch reverberatory furnace for heat treatment of castings, stampings and forgings based on three fundamental ways to increase efficiency coefficient of thermal equipments, namely the application of the principle of the internal heat recovery, installation of acoustic burners and using of inkjet recuperators is developed. The theoretical bases of the impact of these methods on improve the integral heat transfer coefficient in the furnace are presented.

Keywords: furnace; heat treatment; efficiency coefficient; burner; recuperator; acoustics.

На многих предприятиях происходят значительные энергетические потери за счет недостаточного использования теплоты в технологических процессах и несовершенства технологического оборудования. Особенно это характерно для высокотемпературных производств, т.е. там, где энергетические потери очень велики.

Так, в литейных и кузнечных цехах с серийным и мелкосерийным производствами применяют большое количество камерных печей различных конструкций с коэффициентом полезного действия (КПД) не более 12...14 %. В таких печах не организованы оптимальные режимы движения и удаления дымовых газов, способствующих повышению температуры поверхности кладки, излучающей на нагреваемый металл, т.е. не увеличивающих радиационную составляющую коэффициента теплопередачи. В них установлены горелочные устройства, обеспечивающие полное сгорание топлива, однако не влияющие на повышение конвективной составляющей коэффициента теплопередачи от дымовых газов к нагреваемому металлу.

Рекуперативные устройства, используемые в редких случаях на камерных печах, либо обладают высоким аэродинамическим сопротивлением, что требует установки более мощных дутьевых вентиляторов, либо имеют невысокую температуру подогрева воздуха, что делает проблематичным и неэкономичным их применение.

В связи с изложенным выше, была поставлена задача по созданию универсальной камер-

ной печи с повышенным КПД, достигающим 25...30 % и удельным расходом топлива не более (по природному газу) 50...60 нм^3/т нагреваемого металла. При разработке печи были использованы три основополагающих конструктивных и технологических способов увеличения коэффициента теплопередачи в ее рабочей камере:

1) применение в конструкции печи принципа внутренней рекуперации тепла (ВРТ);

2) установка на печи акустических горелок;

3) использование струйных рекуператоров.

В печи также был организован двухсторонний обогрев отливок, что также способствует уменьшению времени нагрева и снижению перепада температур по их сечению. Рассмотрим более подробно каждый из этих способов, дающих возможность увеличить КПД печи до более высоких показателей.

В обычных пламенных печах металл нагревается до требуемой температуры в результате сложного теплообмена, определяемым многими факторами, и продукты горения покидают рабочее пространство через дымовые каналы со значительным теплосодержанием и температурой, превышающей температуру поверхности нагреваемых отливок, штамповок и поковок. Но конструкцию стен и свода печи можно сделать таким образом, чтобы дымовые газы удалялись не через один или два канала, а через газопроницаемый внутренний огнеупорный слой со сквозными порами или отверстиями, за которыми следует полость дымоудаления, играющая роль дымового коллектора, и газонепроницаемый слой кладки. Такой принцип рассредоточенного отвода продуктов горения через проницаемые свод и стены Брунклаус (Der Industrieofenmitinnerer Rekuperation Alle Warmetechnik. 1952. 5. 10—16.) назвал принципом внутренней рекуперации тепла.

Печи, построенные по такому принципу, получили название: печи с ВРТ, поскольку часть теплосодержания, проходящих через внутренний перфорированный слой кладки, дымовых газов, рекуперируется ею и используется для повышения температуры излучающей поверхности рабочей камеры. Теплоотдача отходящих дымовых газов при их прохождении через отверстия может быть так высока, что температура внутренней поверхности кладки печи, излучающей на металл, значительно приближается к температуре газов.

Количество теплоты, получаемое от дымовых газов внутренним слоем кладки, определяется уравнением

$$Q_{кл} = qF_{кл},$$

где q — удельный тепловой поток, передаваемый дымовыми газами внутреннему слою кладки в результате сложного теплообмена радиацией и конвекцией;

$F_{кл}$ — внутренняя поверхность кладки.

В существующих печах внутренняя поверхность кладки, соприкасающаяся с дымовыми газами, определяется геометрическими размерами рабочего пространства печи. В печах с ВРТ эта поверхность значительно увеличивается в результате наличия дополнительной поверхности сквозных отверстий, что резко повышает общее количество тепла, передаваемого дымовыми газами перфорированному слою кладки. При этом температура его значительно возрастает и может приближаться к температуре дымовых газов, находящихся в рабочей камере печи. Это обстоятельство приводит к увеличению температуры излучающей на металл поверхности рабочей камеры, по сравнению с аналогичной поверхностью обычных печей на 120...160 °С в зависимости от степени разрежения в дымовом коллекторе и температуры дымовых газов в печи. Такое повышение температуры внутренней поверхности кладки печи интенсифицирует радиационную составляющую коэффициента теплопередачи к нагреваемому металлу и, как следствие, увеличивает удельный тепловой поток на металл излучением.

В соответствии с законом Стефана—Больцмана в обычных печах удельный тепловой поток на металл излучением составит:

$$q_{изл} = \varepsilon_{пр} C_0 \, [(T_{кл}/100)^4 - (T_{кл}/100)^4],$$

а в печах с ВРТ:

$$q_{изл} = \varepsilon_{пр} C_0 \{(T_{кл}/100)^4 - [(T_{кл} + 160)/100)]^4\},$$

где $\varepsilon_{пр}$ — приведенная степень черноты "системы—кладка—металл";

$T_{кл}$ — температура внутренней поверхности, кладки обычной печи;

C_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Таким образом, использование в конструкции печей принципа ВРТ способствует возрастанию удельного теплового потока от кладки на металл и, следовательно, сокращению времени его нагрева и расхода топлива, т.е. повышению КПД печи.

Вторым основополагающим конструктивным способом увеличения интегрального коэффициента теплопередачи в разрабатываемой печи является оснащение ее не обычными, а акустическими горелками типа КГМГ-А конструкции ВНИИТМАШ [1]. Данный тип горелок в результате динамики газовых тангенциальных струй генерирует акустическое поле частотой 5...7 кГц и мощностью 30...60 Вт, которое значительно улучшает смесеобразование, доводя коэффициент расхода воздуха до 1,01. Одновременно акустическое поле, передаваясь через факел горения в рабочее пространство печи, интенсифицирует конвективную составляющую теплопередачи от дымовых газов к нагреваемому металлу.

Промышленные испытания и длительный срок работы акустических горелок на предприятиях машиностроительного комплекса показали практическое снижение удельного расхода топлива на тонну нагреваемого металла до 30 % по сравнению с работой печи на существующих горелках (ГНП, ГМР, ТЕПЛОПРОЕКТ и др., в том числе и импульсных).

При работе горелок акустическое поле воздействует:

— на процессы смесеобразования топлива с дутьевым воздухом в самом факеле горения, значительно их интенсифицируя практически до молекулярного уровня. В результате горение происходит почти при стехиометрическом соотношении топлива с воздухом, т.е. в продуктах горения отсутствует недожог (CO=0), а кислород составляет не более 0,005 %;

— на процессы теплообмена непосредственно в рабочем пространстве печи, куда акустическое поле передается через факел горения, увеличивая коэффициент теплоотдачи конвекцией от продуктов горения к нагреваемым отливкам. Это можно объяснить следующим образом. При обтекании продуктами горения любых поверхностей на них образуется пограничный слой, где скорость потока падает от начальной до нуля. Этот пограничный слой состоит из двух подслоев: турбулентного и ламинарного. В турбулентном пограничном подслое теплопередача осуществляется непосредственно конвекцией, в результате радиального перемещения отдельных объемов дымового газа, а в ламинарном — чистой теплопроводностью, так как течение газа осуществляется отдельными струями при относительно малых скоростях и удельный тепловой поток определяется формулой:

$$q_л = \lambda_л \delta_л (t_{т-л} - t_{от}),$$

где $\lambda_л$ — коэффициент теплопроводности дымового газа в ламинарном пограничном подслое;

$\delta_л$ — толщина ламинарного пограничного подслоя;

$t_{т-л}$ — температура на границе турбулентного и ламинарного подслоев;

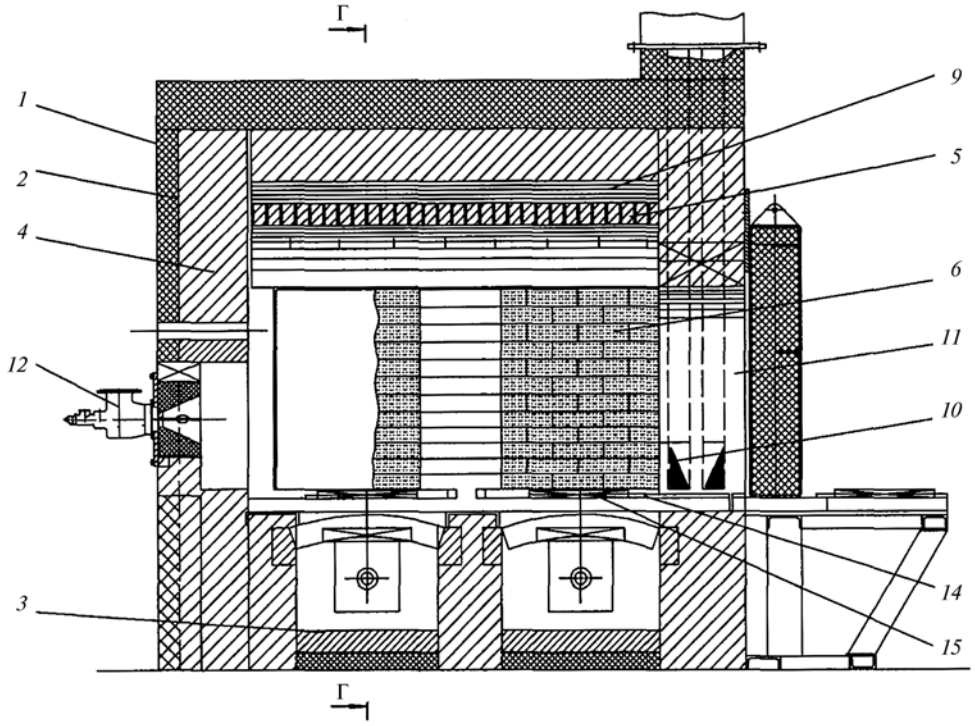
$t_{от}$ — температура поверхности нагреваемой отливки.

Этот ламинарный пограничный подслой является основным термическим сопротивлением теплопередаче, так как λ для газов очень малая величина.

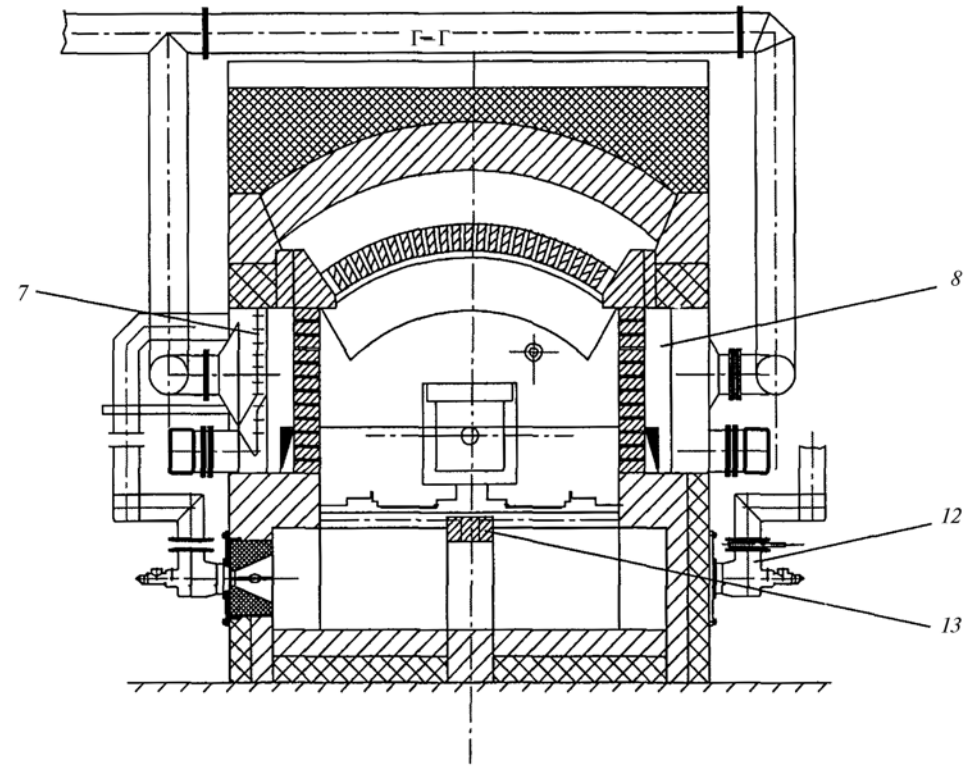
Акустическое поле, излучаемое горелкой, воздействует на образуемый потоком продуктов горения ламинарный пограничный подслой, уменьшая его толщину до минимума, а иногда и уничтожая его, что приводит к увеличению удельного теплового потока, интенсифицируя конвективную составляющую теплопередачи. Это обстоятельство и приводит к сокращению расхода топлива, а следовательно, и повышению КПД печи.

Если общая экономия топлива при его сжигании в акустических горелках составляет 30 %, то, как показывают расчеты, 7...10 % этой экономии осуществляется за счет улучшения смесеобразования, а 20...23 % — в результате интенсификации самого процесса нагрева металла.

И еще одним условием повышения КПД печи считается утилизация тепла уходящих из нее дымовых газов путем применения рекуперативных устройств. Разработано большое количество конструкций рекуператоров. Но почти у всех из них имеется один существенный недостаток. Если рекуператор обеспечивает необходимую темпе-



а)



б)

Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы универсальной камерной печи:

1 — каркас; *2* — футеровка; *3* — под; *4* — торцевые стены; *5* — сводный кирпич; *6* — прямой кирпич; *7* — рекуператор; *8*, *9* — сборные дымовые коллекторы; *10* — основной дымоход; *11* — загрузочное окно; *12* — горелки; *13* — подставка; *14* — направляющие; *15* — поддоны

ратуру подогрева дутьевого воздуха 300...400 °С, то он имеет высокое аэродинамическое сопротивление по воздушному тракту (2500...3000 Па) и требует применения мощных воздуходувок, что ведет к удорожанию капитальных затрат на строительство и эксплуатацию печи. Если же он имеет малое аэродинамическое сопротивление, то он не обеспечивает требуемую температуру подогрева воздуха.

ВНИИТМАШ совместно с МВМИ и ВолгГТУ разработан ряд струйных рекуператоров, успешно внедренных на Липецком тракторном заводе и Чебоксарском заводе тракторных запчастей. Эти рекуператоры при достаточно высоком подогреве дутьевого воздуха (350...450 °С) имеют сравнительно малое аэродинамическое сопротивление (400...600 Па).

На рисунке представлена разработанная в ВолгГТУ универсальная пламенная печь с садкой 1000 кг, включающая в себя описанные выше конструктивные и технологические элементы повышения КПД и снижающая удельный расход топлива на термообработку отливок. Печь представляет собой футерованный специальным образом сварной металлический каркас *1*. Футеровка *2* выполнена из шамотного и изоляционного кирпичей. Под печи *3* и торцевые стены *4* — сплошные, а свод и боковые стены состоят из двух слоев: специального шамотного кирпича (прямой № 5 и клин ребровый № 45, 46), имеющего каждый по 22 сплошных отверстия диаметром 10 мм *6*, и сплошного изоляционного, совместно со струйными рекуператорами 7. Между этими двумя слоями расположены сборные коллекторы — каналы *8*, *9*, соединенные с основным дымоходом *10*, расположенным у загрузочного окна *11*.

Отопление печи осуществляется тремя газомазутными акустическими горелками типа КГМГ-А3 и КГМГ-А1 *12* с максимальной тепловой мощностью 50 и 15 кВт каждая. В рабочей камере печи на огнеупорной подставке *13* установлены карбидкремниевые направляющие *14*, по которым заталкиваются и вытаскиваются поддоны *15* с термообрабатываемым металлом. Механизм заталкивания и вытаскивания на рисунке не показан. Таким образом, рабочая камера разделена на две зоны: основную верхнюю — с элементами ВРТ, в которой установлена одна торцевая горелка КГМГ-А3, и нижнюю, где установлены и шахматном порядке две горелки КГМГ-1. В печь заталкиваются четыре поддона с полезной нагрузкой 250 кг. Наличие двух зон в рабочей камере определяет двухсторонний нагрев отливок.

В боковых стенах печи расположены четыре струйных рекуператора конструкции ВНИИТМАШ с производительностью 250 нм^3/ч каждый и подогревом дутьевого воздуха не менее чем до 350 °С, имеющих аэродинамическое сопротивление не более 600 Па. Дымоудаление в печи осуществляется через сводовый *8* и боковые *9* коллекторы и четыре дымохода, расположенных в передней стенке. Дымоходы имеют шибера для регулирования разрежения в сводовом и боковых коллекторах и обеспечения оптимального отсоса дымовых газов через перфорированные свод и боковые стены.

Исследования принципа ВРТ, проведенные на огневом стенде, показали, что для оптимального разрежения в коллекторах необходимо поддерживать перепад давления в отверстиях перфорированной футеровки в пределах 15...25 Па. Аналитический расчет теплового баланса разработанной печи показал, что ее КПД при всех минимальных преимуществах применения принципа ВРТ, акустического воздействия на теплопередачу в рабочем пространстве и утилизации тепла отходящих дымовых газов в струйных рекуператорах составляет 29 %. Техническая характеристика разработанной печи приведена ниже.

Техническая характеристика универсальной камерной пламенной печи для термической обработки отливок, штамповок и поковок

Садка, кг	1000
Вид термической обработки	Нормализация, закалка, отпуск, отжиг и др.
Вид топлива	Природный газ, мазут
Расход природного газа, нм^3/ч	75
Расход мазута, кг/ч	71
Давление, кПа:	
природного газа	60
мазута	60
дутьевого воздуха	6
Перепад давления в отверстиях перформации, Па	Не менее 1,5...2,5

Площадь активного хода печи, мм	1580 × 1640
Удельный расход природного газа на тонну нагреваемого металла, нм^3/т	50
Удаление дымовых газов	Дымососом
Система регулирования "топливо—воздух"	Ручная, автоматическая
Система регулирования температуры в печи	Автоматическая
КПД печи, %, не менее	29
Давление на поду печи, Па	1,0...1,5
Общая тепловая мощность печи, кВт	760

Заключение. Показано, что увеличение КПД камерных пламенных печей до более высоких значений по сравнению с существующими возможно в результате использования в конструкции принципа внутренней рекуперации тепла акустических горелок и струйных рекуператоров. На основе данной концепции разработан проект универсальной камерной пламенной печи для термической обработки отливок, штамповок и поковок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пожарский А.В., Ким Г.П., Панфилов В.П.** Совершенствование процессов нагрева металла в металлургических цехах машиностроения // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 2. С. 43—45.

Аркадий Владимирович Пожарский, канд. техн. наук;
Николай Алексеевич Кидалов, д-р техн. наук,
nich@vstu.ru;
Виктор Александрович Гулевский, канд. техн. наук

Международная научно-техническая конференция "Современные технологии и оборудование для холодной объемной штамповки на автоматах"

9—10 октября 2014 г. в Московском государственном индустриальном университете состоялась Международная научно-техническая конференция "Современные технологии и оборудование для холодной объемной штамповки на автоматах".

В конференции приняли участие представители ведущих зарубежных производителей крепежных и сложнопрофильных деталей и производителей оборудования:

NEDSCHROEF HERENTALS N.V. (Бельгия), EBNER Industrieofenbau GmbH (Австрия), S.M.A.R.T Threadrolling Solutions. (Италия), CAN-ENG Furnaces International. (Канада), CONDAT GmbH (Франция), HILKER & PARTNER/PACE (Германия), SCHWER + KOPKA GmbH (Германия), TRANSVALOR (Франция), а также специалисты российских производственных компаний и предприятий, научно-исследовательских, проектных институтов и высших учебных заведений:

ОАО "БЕЛЗАН", ООО "Сатурн", Улан-Удэнский Авиационный Завод, ООО "Завод деталей трубопроводов "РЕКОМ", ОАО "Северсталь-метиз", филиал Орловский, ОАО "ММК-Метиз", ОАО "Нефтехимзапчасть", ООО ЗВК "БЕРВЕЛ", МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГМУ "МАМИ", МГИУ, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, МГТУ "СТАНКИН" и другие.

Конференция была посвящена вопросам комплексного технического развития производства крепежных и сложнопрофильных деталей на основе современных технологий и оборудования холодной объемной штамповки (ХОШ) на автоматах, а также организации производства высококачественных деталей методами ХОШ.

Были рассмотрены все этапы современных технологических процессов производства крепежных и сложнопрофильных деталей от подготовки металла до контроля и сортировки готовых деталей, а также современное оборудование, необходимое для производства.

Темы и краткое содержание некоторых сделанных докладов:

1. Гибридные холодновысадочные машины (Марк Ван Тиль, генеральный менеджер по продажам компании NEDSCHROEF-HERENTALS N.V., Бельгия).

В докладе отмечено, что компанией NEDSCHROEF HERENTALS N.V. (Бельгия) успешно развивается новое прогрессивное направление в проектировании гибридных многопозиционных холодновысадочных автоматов для изготовления крепежных и других сложнопрофильных деталей с механизмом переноса и механизмом подачи заготовок с сервоприводом с числовым программным управлением. Кроме этого, использование сервотехнологии позволило разработать принципиально новую фундаментальную концепцию холодновысадочных машин с главным сервоприводом.

2. Проектирование холодновысадочного инструмента (Джулиен Мертенс, руководитель отдела проектирования технологии и инструмента компании NEDSCHROEF-HERENTALS N.V., Бельгия).

Были приведены примеры комплектов инструмента для ХОШ сложных деталей, технологии разрушающегося инструмента (примеры и ограничения), примеры расчетов сил деформирования и способы оптимизации холодновысадочного инструмента.

3. 100%-ный контроль крепежных деталей с нулевым значением показателя "ppm" с помощью машины PACE (Стефан Хилкер, президент HILKER & Partner GmbH, Германия).

В докладе были показаны различные системы контроля для определения геометрических дефектов деталей, трещин, твердости, повреждений поверхности деталей и резьбы, определение повреждений пуансонов и др. Также была показана необходимость проведения 100%-ного контроля крепежных деталей в автомобильной промышленности, авиастроении и электротехнической промышленности.

4. Измерение силы и системы сбора данных для кузнечно-прессового оборудования, предназначенного для холодной объемной штамповки (Томас Копка, генеральный директор SCHWER + KOPKA GmbH, Германия).

В докладе приведены сведения о принципах измерения силы в кузнечно-прессовом оборудовании, предназначенном для холодной объемной штамповки и накатки резьбы; параметры датчиков для измерения сил деформирования в различном оборудовании; отмечены преимущества использования систем измерения силы и организации сетевой связи оборудования и систем сбора данных в условиях производства, а также показаны возможности оптимизации производства с помощью систем сбора данных.

5. Технология EXTRUGLISS (Лионел Мармонье, менеджер компании CONDAT Lubrifiants, Франция).

В докладе было отмечено, что группа CONDAT была организована для поддержки холодноштамповочной отрасли промышленности с помощью новой концепции — технологии EXTRUGLISS. Ноу-хау группы CONDAT — технология EXTRUGLISS, основанная на сочетании смазочных материалов, мыла для волочения и смазочного материала для холодной высадки EXTRUGLISS, гарантирующее превосходный результат и включающее: технологии подготовки поверхности (EXTRUGLISS ST), технологии волочения проволоки (EXTRUGLISS WD) и смазочные материалы (EXTRUGLISS OIL).

6. Новое оборудование для термической обработки для крепежной отрасли промышленности (Тим Донофрио, вице-президент компании CAN-ENG FURNACES INTERNATIONAL Ltd., Канада).

Отмечено, что производители крепежных деталей выбирают для производства полностью автоматическую непрерывную систему термической обработки с ленточным конвейером в защитной атмосфере, обеспечивающую высокое качество, эффективность и надежность процессов термической обработки. С начала 1990-х годов производители начали использовать системы термической обработки с ленточным сетчатым конвейером, имеющие следующие преимущества: легкая загрузка деталей, уменьшенная вероятность повреждения резьбы и возможность

закрепления деталей. В настоящее время оборудование компании CAN-ENG для термической обработки деталей с ленточным сетчатым конвейером сравнимо с существующими печами для термической обработки, оснащенными литыми цепными конвейерами.

7. Технология колпакового отжига HICON/H2® для термообработки стальной проволоки (Рейнхард Лейтнер, генеральный менеджер по продажам компании EBNER INDUSTRIEOFENBAU GmbH, Австрия).

В докладе было отмечено, что оптимальная термообработка катанки является основной предпосылкой последующего процесса холодной высадки. Высокая степень сфероидизации, отсутствие обезуглероживания кромок материала, а также равномерные механические свойства способны предотвратить возникновение дефектов в процессе последующей холодной высадки. Наряду с этим к современным термообрабатывающим агрегатам ставятся такие требования как высокая пропускная способность, минимальные производственные издержки, долгий срок службы, а также высокая эксплуатационная готовность оборудования. Фирма EBNER со своей технологией колпакового отжига HICON/H2® является мировым лидером в производстве печного оборудования для термообработки стальной проволоки. Все известные заводы-изготовители винтов и деталей, полученных холодной высадкой, относятся к числу клиентов фирмы EBNER.

8. Технология и оборудование для накатки резьбы и профилей (Алберто Коррета, коммерческий директор компании S.M.A.R.T. Treadrolling Solutions, Италия).

В докладе были представлены современные технологии и оборудование для накатки резьбы в крепежных и других деталях.

9. Развитие численного моделирования процессов холодной объемной штамповки (Ришар Дюкло, исполнительный директор компании TRANSVALOR, Франция).

В докладе были показаны возможности моделирования сложных технологических процессов холодной объемной штамповки с использованием программного комплекса Forge, а также продемонстрированы примеры моделирования производственных технологических процессов: от штамповки до термической обработки.

По результатам работы конференции были подготовлены предложения по созданию в Московском государственном индустриальном университете совместно с ведущими зарубежными компаниями Международного Учебно-Инжинирингового Центра "Современные технологии ХОШ" для подготовки высококвалифицированных кадров для российских предприятий, работающих в области производства крепежных и других сложнопрофильных деталей методами холодной объемной штамповки, и продвижения передовых мировых технологий в области ХОШ на российский рынок.

ООО "Издательство **Машиностроение"**, 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение". **E-mail: zpm@mashin.ru**
Тел. редакции журнала: (499) 268-47-19, 269-54-96. http://www.mashin.ru
Дизайнер *Подживотов К.Ю.* Технический редактор *Патрушева Е.М.* Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 10.11.2014. Подписано в печать 23.12.2014. Формат 60 × 88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.