РОССИЙСКАЯ КУЗНЕЧНАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА А.И.ЗИМИНА

ТЯЖПРЕССМАШ
ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

АССОЦИАЦИЯ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ XVI КОНГРЕСС

«КУЗНЕЦ-2026»

СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ



Посвящается памяти
Генерального директора
ПАО «Тяжпрессмаш»
Володина А.М.

СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Сборник докладов и научных статей
Международного XVI Конгресса «Кузнец-2026»

Рязань
2026

Редакционная коллегия:
Клинов А.А., Корытчинков Д.Е., Чмиленко В.М.

Состояние отечественного кузнечно-прессового машиностроения и перспективы развития технологических процессов обработки металлов давлением в условиях импортозамещения XVI Конгресса «Кузнец-2026»

Сборник докладов и научных статей
Международного XVI Конгресса «Кузнец -2026»

Международный XVI Конгресс «Кузнец-2026» направлен на обмен информацией, опытом и инновационными проектами по основным проблемам кузнечно-прессового машиностроения (КПМ), приводам кузнечно-прессовых машин, технологии кузнечно-штамповочного производства (КШП), экспериментальных исследований в области оборудования и технологии обработки материалов давлением (ОМД), которые являются актуальными для кузнечных производств всех традиционных отраслей промышленности в условиях импортозамещения.

Важной особенностью Конгресса является курс на передачу опыта, знаний, традиций молодому поколению ученых, восстановление преемственности поколений и кадров научной школы КПМ, КШП, ОМД.

В сборнике представлены научные статьи и доклады в авторской редакции.

Международный XVI Конгресс «Кузнец-2026» - Школа молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов.

Перепечатка и копирование материалов, опубликованных в сборнике, без согласия авторов запрещается.

ISBN 978-5-9901371-9-6



Организаторами Международного XVI Конгресса «Кузнец-2026» являются:
ПАО «Тяжпрессмаш», Российская инженерная академия, Российская Кузнечная Академия им. проф. А.И. Зимина, Российская Ассоциация «Станкоинструмент»



Алексей Михайлович Володин
(27.03.1947 — 29.10.2024)

Почти два года прошло с того печального дня 29 октября 2024 года, когда не стало Володина Алексея Михайловича — первого генерального директора ПАО «Тяжпрессмаш», уникального человека, талантливого инженера, блестящего организатора, стратега, руководителя, отличительными чертами которого были истинный профессионализм, высокая гражданская ответственность и большой общественный темперамент.

Возглавляя более 30 лет крупнейшее машиностроительное предприятие — завод ПАО «Тяжпрессмаш» с многоструктурным переделом в сложные для страны и промышленности годы, Алексей Михайлович Володин проводил активную, масштабную и общественную работу.

Заслуги Алексея Михайловича Володина отмечены высокими государственными и региональными наградами: орденом Почёта, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, званием лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники и званием «Заслуженный машиностроитель РФ». Он — почётный гражданин города Рязани и обладатель почётного знака «За заслуги перед Рязанской областью». Среди наград — золотая медаль имени академика В. Ф. Уткина, ведомственные грамоты и региональные знаки отличия. Отдельного упоминания заслуживают патриаршая грамота Патриарха Московского и всея Руси Кирилла (за помощь в строительстве храма в селе Паники) и благодарность Президента РФ как доверенному лицу кандидата на должность Президента РФ В.В. Путина за успешное проведение предвыборной кампании в 2018 году.

Алексей Михайлович Володин начал свою более чем 50-летнюю трудовую деятельность на Рязанском заводе ТКПО в 1972 году после окончания Пензенского политехнического института и службы в армии. Последовательно прошел путь от контрольного мастера ОТК, мастера, начальника бюро цехового контроля сборочного цеха №7, начальника механосборочного цеха №8, начальника механического цеха №10. В 1981 году стал заместителем главного технолога завода, в 1982 году исполняющим обязанности заместителя генерального директора по производству. В 1983 году приказами Минстанкопрома (Союзкузмаш) был назначен сначала заместителем генерального директора

по производству, затем главным инженером, первым заместителем генерального директора. В 1994 году решением Совета директоров «Тяжпрессмаш» был избран исполняющим обязанности генерального директора, а с 1995 года по 29 октября 2024 года был генеральным директором.

Под его руководством и при его непосредственном участии происходило освоение широкой номенклатуры уникального, не имеющего аналогов сложного кузнечно-прессового оборудования — это горизонтально-ковочные, радиально-обжимные машины, прессы гидравлические, манипуляторы ковочные, холодноштамповочные автоматы, листогибочные машины, автоматические горячештамповочные линии и комплексы.

За годы руководства Алексея Михайловича Володина предприятие стало одним из ведущих машиностроительных предприятий и завоевало прочную репутацию надежного производителя оборудования, которое другие сделать не могут. Особого внимания заслуживает линия для горячей штамповки заготовок колец подшипников диаметром до 120 мм. Одна линия при трёхсменной работе заменяет 9 горизонтально ковочных машин и высвобождает 25 рабочих, а экономия подшипниковой стали превышает 2 тонны в год.

Решением комиссии при Президенте РФ в области науки и техники за внедрение автоматических горячештамповочных линий на всех государственных подшипниковых заводах России Алексею Михайловичу Володину в 1999 году присвоено звание лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники. С 1975 года по 2005 год преимущественно по заказам ГПЗ была изготовлена 31 такая линия. Оборудование марки ТКПО эксплуатировалось на отечественных предприятиях и поставлялось в 40 стран ближнего и дальнего зарубежья, подтверждая свою конкурентоспособность на мировом рынке.

Полную меру ответственности за «Тяжпрессмаш» генеральный директор принял на себя в сложное для предприятия и для всей страны время в 1994 году. В условиях экономического кризиса Алексей Михайлович Володин сплотил вокруг себя группу единомышленников. Обладая аналитическим мышлением и глубокими знаниями в вопросах экономики и финансов, успешно провел реформу структуры управления предприятием, принял непростое, но единственно верное решение искать новые рынки сбыта продукции, переходить к выпуску новой продукции.

В 1995 году на «Тяжпрессмаш» началось изготовление нефтегазового оборудования. Это была одна из важнейших личных инициатив генерального директора, которая вывела завод из кризиса. Наиболее тесные контакты завязались с разработчиком документации Ванифатьевым В.И., который в дальнейшем возглавил ООО НТЦ «ЗЭРС». Много проектов было реализовано за годы совместной работы. Алексей Михайлович неустанно вел поиск новых контактов. Его знакомство с техническими специалистами «Сургутнефтегаз» и личное знакомство с генеральным директором Богдановым В.Л. позволило предприятию освоить совершенно новое направление, выйти на рынок и стать надежным поставщиком продукции для строительства скважин для крупнейших компаний: ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «Газпром», ПАО НК «Роснефть», ПАО АНК «Башнефть», ПАО «Татнефть». Заслугой Алексея Михайловича является расширение номенклатуры и выпуск более 600 наименований нефтегазового оборудования.

Под его руководством была проведена масштабная реорганизация металлургического подразделения: модернизация литейного производства по переводу 20-тонной электродуговой печи с переменного тока на постоянный, что позволило улучшить качество литья и снизить затраты элек-

троэнергии и материальные расходы. Была приобретена и установлена линия ЛГМ для литья по газифицируемым моделям, позволяющая получать достаточно точные изделия без необходимости последующей механической обработки. Разработана и запущена в эксплуатацию машина центробежного литья РМЦ1000, на которой была освоена технология производства литых толстостенных трубных заготовок. Были установлены печи струйного нагрева для слитков с улучшением качества и экономией расхода газа. Прорывом в кузнечном производстве стало внедрение в технологию ковки уникального четырехбойкового ковочного устройства. Эта научная разработка, не имеющая зарубежных аналогов, позволила значительно улучшить качественные характеристики металла и увеличить производительность процесса ковки. Повышенное внимание и личный контроль Алексея Михайловича на каждом производственном этапе позволили предприятию достичь необходимого качества и стать надежным поставщиком, расширив номенклатуру данной продукции.

В 2008 году Алексей Михайлович поддержал инициативу Юрия Анатольевича Зимина, д.т.н., профессора - основателя Союза Кузнецов России, президента Российской Кузнечной Академии и провел в Рязани конгресс «Кузнец-2008» по актуальным проблемам кузнечной отрасли в России. Конгресс собрал представителей машиностроительных предприятий из различных регионов России, преподавателей и студентов Российских учебных заведений по специальности «Обработка металлов давлением». В работе Конгресса приняли участие представители следующих предприятий: «МПО им. И. Румянцева, АМО ЗИЛ (Москва), «ФерроБалт» (г. Санкт-Петербург), «Тяжмехпресс» (г. Воронеж), «Каменск-Уральский металлургический завод, «НПК «Уралвагонзавод (г. Нижний Тагил), «ЧТЗ-Уралтрак»

(г. Челябинск), «Сальский завод КПО», «Новочеркасский электровозостроительный завод», РУП «Минский тракторный завод», «КванторФорм» (Москва), «ММЗ «Авангард» (Москва), Кераммаш» (г. Крамоторск), EstelElectro AS (г. Таллин), Компания «BeckhoffAutomatioп», фирма «WS GmbH» (Германия), научные организации: МГВМИ, МИСиС, МГТУ «Станкин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, ТулГУ (г. Тула), БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург), УГАТУ (г. Уфа), ИГТУ (г. Ижсвск), РГРТУ (г. Рязань) и другие. Конгресс «Кузнец 2008» имел большой резонанс: он дал ведущим специалистам в области обработки металлов давлением возможность познакомиться с новейшими технологиями, обменяться полезной информацией и наладить взаимовыгодное сотрудничество. По инициативе Алексея Михайловича конгрессы стали регулярными, а площадка — устойчивым форматом отраслевого диалога, востребованным у предприятий, научных и учебных центров.

Деловая интуиция Алексея Михайловича не раз позволяла находить новые неожиданные сферы деятельности для предприятия. С 2009 года ПАО «Тяжпрессмаш» — разработчик, изготовитель и поставщик продукции для нужд Мосводоканала. Сейчас эта серийная продукция поставляется в различные регионы России.

В 2013 году была получена лицензия на ведение образовательной деятельности по обучению рабочим специальностям. Тесное сотрудничество связывает завод с Рязанским Станкостроительным колледжем, Рязанским государственным радиотехническим университетом, Рязанским институтом (филиалом) Московского политехнического университета, которые стали кузницей кадров для предприятия.

Под талантливым руководством Алексея Михайловича Володина «Тяжпрессмаш» значительно расширил свою

номенклатуру, стал выпускать продукцию для разных отраслей — нефтегазовой, металлургической отрасли, автомобилестроения, железнодорожной, атомной промышленности, авиастроения, жилищно-коммунального хозяйства и других. Указом Президента РФ в 1996 году за существенный вклад в развитие заготовительного производства для машиностроения Алексею Михайловичу было присвоено звание «Заслуженный машиностроитель». Свидетельством высокой государственной оценки того выдающегося вклада, который он внес в развитие отечественной промышленности на протяжении всей своей многолетней трудовой деятельности, стала присужденная ему правительственная награда орден Почета.

Алексей Михайлович был по-настоящему верен своему делу: он не просто руководил заводом — он жил его задачами, пропускал через себя каждую проблему и доводил до результата даже самые сложные проекты. Эта преданность стала фундаментом тех достижений, которыми предприятие по праву гордится. До последнего дня он не снижал планку: работал с той же вовлеченностью и энергией, которая всегда отличала его стиль руководства. Для него завод был не только производством, но и большой семьей: он умел слышать людей, поддерживал молодых специалистов и передавал опыт тем, кто готов был продолжать начатое. Именно поэтому его дело живет в работе коллектива и в тех традициях, которые сохраняются на предприятии.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЯЗАНСКОГО ПАО «ТЯЖПРЕССМАШ»

Клинов А.А. - генеральный директор,
Сорокин В.А. - главный инженер, Петров Н.П.- заместитель главного инженера по КС, главный конструктор,
ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань

В сфере производства кузнечно-прессового оборудования (КПО) и обработки давлением сохранились следующие направления:

1. Разработка и изготовление специального КПО и автоматических линий с технологией и инструментом под конкретные или типовые изделия заказчика;
2. Изготовление КПО в соответствии со сложившейся номенклатурой;
3. Модернизация и капитальный ремонт КПО собственного производства и других производителей;
4. Разработка и изготовление для собственного производства различного оборудования и стендов с использованием процессов обработки давлением;
5. Опытно-конструкторские работы для сторонних заказчиков;
6. Разработка и внедрение различных штампов и пресс-форм.
7. Шефмонтаж и пусконаладка оборудования у Заказчика.

Для каждого из этих направлений объем производства определяется лимитом заключенных договоров и конструкторских ресурсов и, поэтому, год от года различаются, но наиболее приоритетными являются направления № 1 и № 2.

За период после XV Конгресса «Кузнец 2024» по каждому из этих направлений имеются конкретные положительные результаты, укрепившие производственный потенциал наших заказчиков и обогатившие наши компетенции не только в познании новых технологий и проектировании, но и в кооперации.

При изготовлении оборудования по направлению №1 очень часто в нашей практике разрабатывается автоматизированное оборудование под имеющийся у заказчика отработанный, прогрессивный, но до этого неизвестный для нас технологический процесс и при этом решается задача многократного повышения производительности труда и качества продукции за счет уменьшения влияния человеческого фактора. Конструктивные творческие отношения с заказчиком в таких работах складываются уже на этапе технического задания и укрепляются в процессе согласований при проектировании, пусконаладки, сдачи оборудования и последующего авторского надзора. Такие работы приносят удовлетворение не только своим конечным результатом в виде изготовленного оборудования с высокой оценкой заказчиком, но и тем, что расширяют наши компетенции в области технологии.

Изготовление оборудования в соответствии с направлением №2 также предполагает проектные работы, так как периоды между заказами очень длительные и требуется, как минимум разработка средств автоматизации, гидроприводов, пневмосистем, смазочных систем и систем управления на новых комплектующих изделиях. Заказы на это оборудование подтверждают его высокий технический уровень, надежность и высокую оценку заказчиком при принятии им решения о его приобретении с целью расширения производства.

Выполнение работ по направлению №3 возможно и

имеются примеры таких работ, но лишь при условии дефицита работ по направлениям №1 и №2.

Работы по направлению №4 для собственного производства выполняются регулярно и позволяют внедрять оптимальные технологические процессы, снижать себестоимость серийной (не кузнечно-прессовой) продукции - обеспечивать ее конкурентоспособность. Иногда это оборудование начинаем поставлять и на рынок.

Примером могут служить 4-х бойковые ковочные устройства, которые создавали для собственного кузнечного цеха, чтобы быть конкурентными на рынке поковок типа валов, а стали поставлять сторонним заказчикам. Всего изготовили 19 ковочных устройств.

Поставка четырехбойковых ковочных устройств

	сила пресса, МН								
	10,0	12,0	12,5	16,0	20,0	25,0	30,0	35,0	45,0
Германия	1 шт.								
Россия					4 шт.	3 шт.		1 шт.	
КНР		1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	2 шт.		1 шт.
Индия					1 шт.				
КНДР					1 шт.				

Изготовлено 19 устройств

Опытно-конструкторские работы для сторонних заказчиков выполняются только при условии перспективы заказа кузнечно-прессового оборудования по результатам этих работ.

Современные сложные экономические условия повлияли на производство КПО:

— уменьшилось количество заявок на КПО;

— увеличился объём применения отечественных комплектующих изделий;

— успешно развивается кооперация, в том числе и международная;

— увеличилась цена и сроки поставки комплектующих изделий из недружественных стран;

— некоторые комплектующие изделия ведущих производителей из недружественных стран недоступны для приобретения;

— вынуждены искать и изучать новые комплектующие изделия, чаще менять поставщиков, что увеличивает сроки проектирования, отладки и, соответственно, изготовления сложного оборудования.

ПАО «Тяжпрессмаш» располагает необходимыми инженерными кадрами для удовлетворения все возрастающих технических требований заказчиков, которые успешно реализуются в новых проектах.

ПРЕСС БРИКЕТИРОВОЧНЫЙ УСИЛИЕМ 60 МН ДЛЯ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ СПЛАВОВ ТИТАНА, ЦИРКОНИЯ, ГАФНИЯ И НИОБИЯ

Марков Д.Г. – к.т.н., главный конструктор проекта,
ООО «Тяжпрессмаш – УРАЛ», г.Екатеринбург

Введение

Изготовление расходуемых электродов из сплавов титана, циркония, гафния и ниобия для получения слитков методом вакуумной дуговой переплавки – важный этап технологического процесса, который в значительной степени влияет на качество готового слитка.

Существуют технологии получения электродов за счет прессования отдельных шайб или секторов достаточно малой длины с последующей их сборкой и сваркой в единый электрод необходимой длины. Существенные недостатки такого метода – это высокая трудоемкость получения электрода, а также неоднородность структуры за счет соединения из нескольких частей.

Полунепрерывный метод прессования электродов на вертикальных прессах дает принципиальную возможность получения достаточно длинного и однородного в поперечном сечении электрода, так как направление естественного движения составляющих шихты под действием силы тяжести и направление принудительного движения прессуемой массы в данном случае совпадает.

Назначение и область применения

Пресс брикетировочный модели Т60МН предназначен для получения электродов из сплавов титана, циркония, гафния и ниобия методом полунепрерывного прессования.

Оборудование обеспечивает получение электродов с

заданными характеристиками, такими как диаметр, длина, плотность спрессованного материала.

Пресс оснащен системой подготовки и смешивания шихтовых материалов, а также системой приема и выгрузки готового электрода.

Исходные данные

– диаметры электродов, мм	260, 300, 340
– длина электрода, мм	2400 … 4000
– плотность готового электрода из титана, г/см³	3.8 – 4,1

Технические характеристики установки

– номинальное усилие пресса, МН	60
– усилие возвратных цилиндров	4,8
– рабочее давление гидропривода, МПа	32
– количество рабочих цилиндров	1
– количество возвратных цилиндров	4
– температура контейнера, С°	200 … 400
– ход прессующей траверсы, мм	800
– скорость рабочего хода, мм/с	1… 5
– скорость холостого хода, мм/с	40
– скорость возвратного хода, м м/с	3 … 145

Конструктивные особенности пресса

Пресс колонный конструкции. (рис.1) Станина пресса состоит из основания, архитрава и четырех колонн, которые стянуты шестнадцатью гайками. Усилие прессования создает главный цилиндр плунжерного типа. Цилиндр дном опирается на архитрав и закреплен на нем при помощи шпилек. Плунжер упирается в подвижную траверсу и закреплен на ней при помощи шпилек. Для возврата подвижной траверсы и плунжера в исходное положение предусмотрены возвратные цилиндры. Для установки и смены контей-

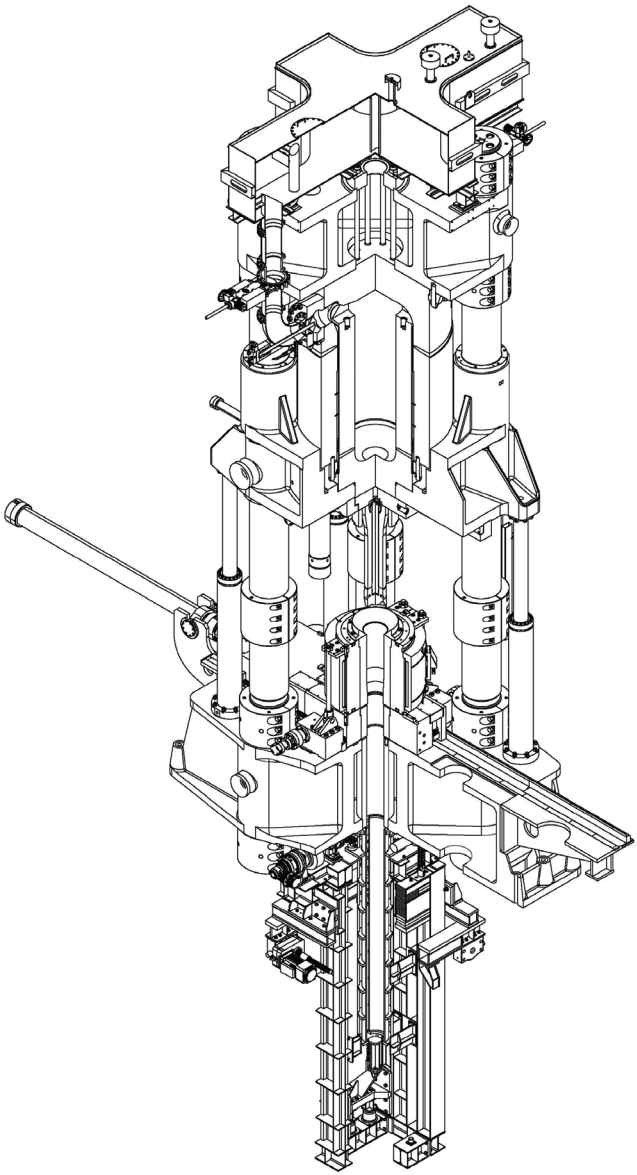


Рис.1. Общий вид прессовой установки

нера предусмотрен стол загрузки. Стол загрузки перемещается при помощи гидроцилиндра. Для установки и смены прессштемпелей предусмотрена инструментальная доска. Инструментальная доска перемещается при помощи гидроцилиндра.

Отпрессованный электрод проходит через отверстие в основании и опускается в социальную корзину механизма приема электрода. В механизме приема электрода предусмотрена система противовесов для осуществления подпора электрода снизу при прессовании.

Описание работы прессовой установки

Общее описание технологического процесса

Шихта засыпается в приемную воронку не выше уровня втулки (рис.2). Плотность шихты равна 0,69 – 0,90 г/см³, высота столба 700 – 800 мм. После засыпки прессштемпель опускается вниз, спрессовывая засыпанную массу. В течение первых 10 – 20 с, что составляет 20 – 25% времени рабочего цикла прессования, происходит наиболее значительное уменьшение исходного объема порции – в 3 – 3,5 раза с уплотнением шихтовой массы до 2,0 – 2,5 г/см³. Для дальнейшего продвижения прессштемпеля вниз к границе перехода цилиндрической части втулки в коническую и затем в верхний пояс (30 – 50 мм) конусной части втулки, требуется резко увеличить усилие прессования.

На этой стадии происходит деформация и сцепление элементов шихты, плотность которой достигает 85 – 90% от плотности отпрессованного электрода.

Требуемое для прессования усилие при прохождении прессшайбой верхнего пояска конусной части втулки, которое является максимальным для всего рабочего цикла, затрачивается не только на уплотнение, деформацию

и сцепление шихтовых материалов, но и на деформацию подложки, т.е. ранее отпрессованной порции электрода, находящейся в нижней половине конусной части втулки, и на преодоление сил трения и сил сцепления (схватывания) на границе электрод – внутренняя поверхности втулки в момент, предшествующий началу движения электрода. После начала движения электрода требуемое для прессования усилие падает до уровня, соответствующего началу движения прессштемпеля вниз. В течение этого времени шихтовая масса продвинулась до половины высоты конусной части втулки и окончательно оформилась в спрессованную до плотности 3.8 – 4,1 г/см³ таблетку, крепко сцепленную с ранее отпрессованной порцией и всем электродом. Далее следует подъем прессштемпеля, засыпка очередной порции шихты и повторение процесса.

Выбор оптимального положения очага наиболее интенсивной деформации в конусной части втулки определяет плотность и прочность электродов, а также влияет на величину необходимого усилия прессования.

Для повышения пластичности материала и улучшения условий трения контейнер подогревается до 200 – 400 °С.

Технологический цикл получения электрода

Исходное положение

• подвижная прессующая траверса в верхнем крайнем положении

• контейнер на подвижном столе выставлен на ось пресса

• рабочая втулка контейнера нагрета до необходимой температуры прессования

• доска смены прессштемпелей выставлена в позицию засыпки шихты

• механизм приема электрода выставлен на ось пресса и готов к приему прессуемого электрода

Технологический цикл

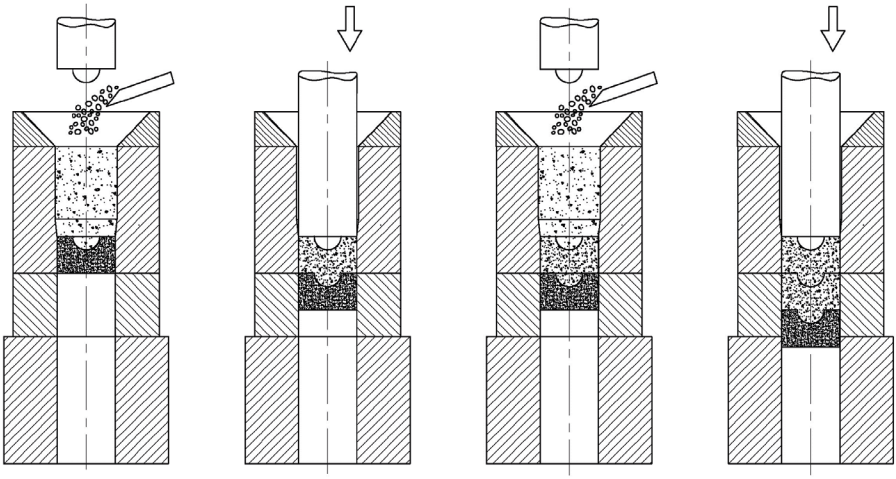


Рис.2. Процесс полунепрерывного прессования

• **Засыпка шихты.**
В пресс между прессштемпелями над верхней плоскостью контейнера вводится механизм засыпки шихты и производится заполнение контейнера приготовленной шихтой.

• **Выставка прессштемпеля с фигурной прессшайбой на ось пресса.**
Выставка производится за счет перемещения доски смены прессштемпелей в крайнее левое положение.

• **Прессование шихты.**
Уплотнение шихты производится прессштемпелем с фигурной прессшайбой при перемещении прессующей траверсы

вниз.

• **Прием прессуемого электрода.**
Механизм приёма электрода сопровождает прессуемый электрод с необходимым подпором.

• **Возврат прессующей траверсы в исходное верхнее положение.**
Перемещение осуществляется возвратными цилиндрами.

• **Возврат доски смены прессштемпелей в позицию засыпки шихты.**
Перемещение осуществляется гидроцилиндром.

• **Далее операции повторяются до получения электрода необходимой длины.**

• **Выставка прессштемпеля с плоской прессшайбой на ось пресса.**
Выставка производится за счет перемещения траверсы смены прессштемпелей в крайнее правое положение.

• **Проталкивание электрода**, (рис.3)
Проталкивание производится прессштемпелем с плоской прессшайбой при перемещении прессующей траверсы вниз до момента выталкивания электрода из контейнера.

• **Прием отпрессованного электрода.**
Механизм приёма электрода сопровождает прессуемый электрод и загружает его в специальную капсулу.

• **Выгрузка готового электрода.**
Тележка механизма приёма электрода вывозит электрод из

зоны пресса в позицию выгрузки, где специальным устройством механизма приёма электрод извлекается из капсулы.

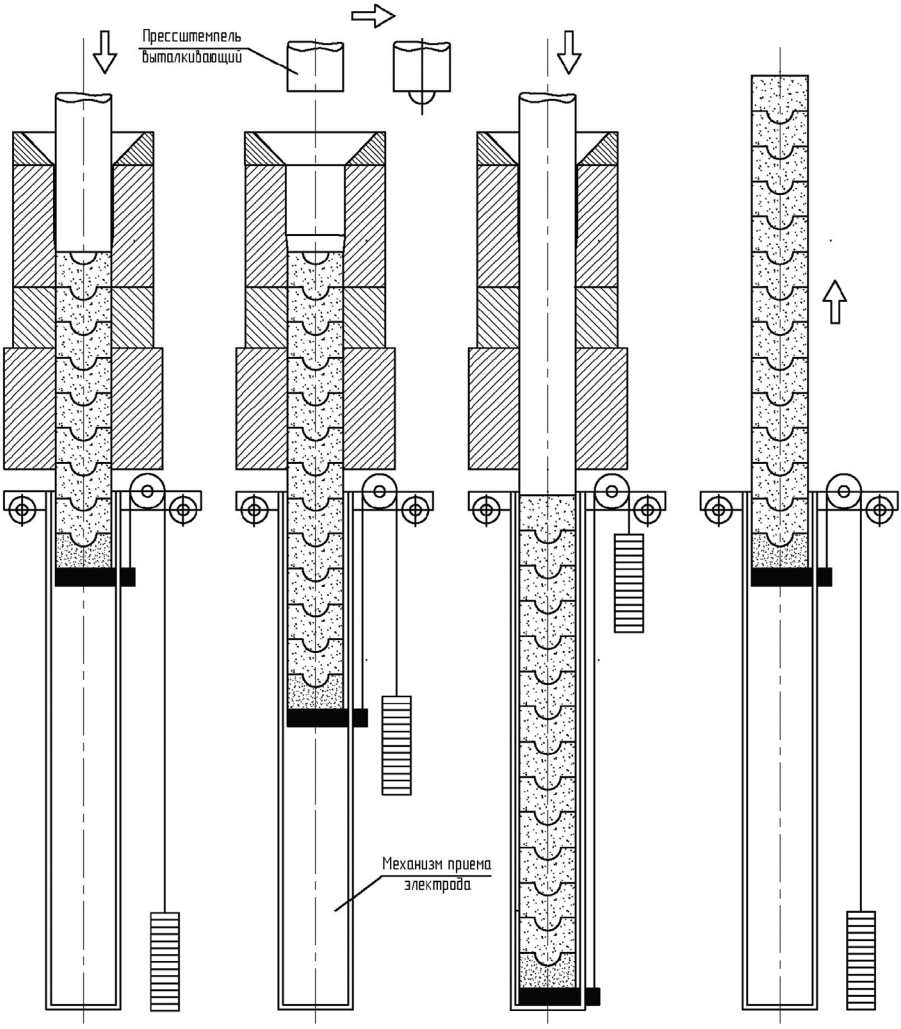


Рис.3. Проталкивание электрода

Заключение

Прессовая установка для получения электродов методом полунепрерывного прессования позволяет получать электроды с заданными характеристиками плотности достаточно большой длины с более высокой производительностью и эффективностью в сравнении со способом получения электродов методом прессования отдельных шайб и секторов с последующей их сборкой и сваркой.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭТАПАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНТАЖА

Кравцов Н.С. – ведущий инженер, Сурков А.И. – инженер, ООО «Надёжность ТМ», Москва

Кузнечно-прессовое оборудование относится к числу наиболее металлоёмких, энергонасыщенных и ответственных видов промышленного оборудования. Современные кузнечные прессы, молоты и автоматизированные ковочные комплексы работают в условиях высоких статических и динамических нагрузок, а стоимость их изготовления, монтажа и последующей эксплуатации непрерывно возрастает. В этих условиях особую актуальность приобретают задачи обеспечения надёжности, безопасности и долговечности оборудования на протяжении всего его жизненного цикла.

Компания ООО «Надёжность ТМ» специализируется на выполнении работ по экспертизе технического состояния, последующему ремонту обнаруженных дефектов и восстановлению проектных режимов эксплуатации оборудования.

Методика проведения экспертизы обычно включает в себя следующие этапы:

- расчёт напряжённого состояния базовых деталей методом конечных элементов;
- обследование базовых деталей методами неразрушающего контроля;
- проведение высокоточных лазерных измерений с применением лазерных трекеров;
- проведение натурных измерений напряжённо-деформи-

рованного состояния деталей оборудования методом электротензометрии.

Расчёт напряжённо-деформированного состояния базовых деталей позволяет оценить уровень напряжений и выявить зоны их высокой концентрации (рис.1). Это даёт возможность выявить зоны, подверженные риску образования усталостных трещин, что в свою очередь позволяет разработать технические решения по модернизации конструкции для обеспечения снижения уровня напряжений.

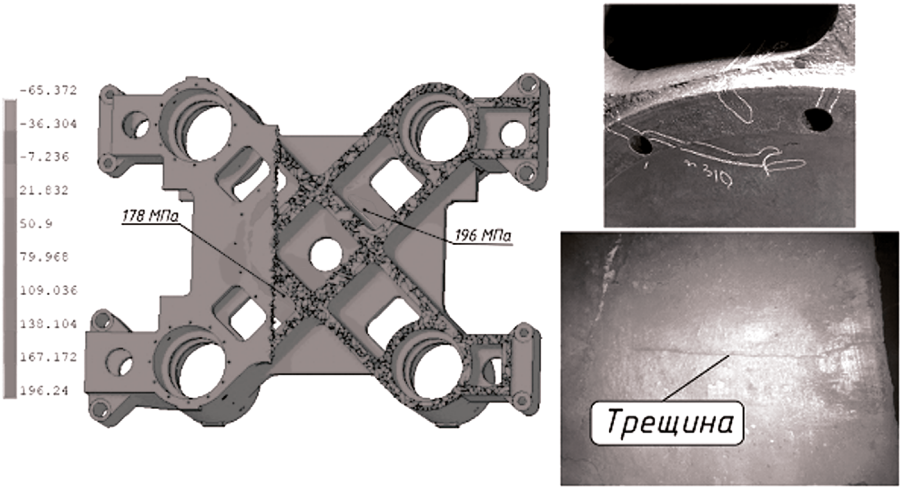


Рис.1. Результаты расчёта напряжённого состояния (главные напряжения σ_1, МПа) подвижной траверсы пресса силой 100 МН и фотографии трещин, обнаруженных в соответствующих зонах концентрации

Зарождение усталостных и последующее распространение усталостных трещин может привести к внезап-

ному отказу оборудования, что влечёт за собой большие финансовые потери. Так, например, разрушение резьбовой части колонны под действием рабочей нагрузки пресса силой 65 МН стало причиной остановки линии производства железнодорожных колёс (рис.2).



Рис.2. Фотография разрушенной колонны пресса 65 МН

Периодическое обследование базовых деталей пресса методами неразрушающего контроля (капиллярная дефектоскопия, ультразвуковой контроль и т.п.) способствует своевременному обнаружению эксплуатационных дефектов, в частности усталостных трещин (рис.3). Ремонт трещин на ранних стадиях их зарождения позволяет провести

ремонтные мероприятия в кратчайшие сроки, разработать технические решения по недопущению их повторного возникновения и, как следствие, снизить риск незапланированных простоев оборудования, что существенно сокращает затраты на поддержание оборудования в технически исправном состоянии.



Рис.3. Обследование деталей методами неразрушающего контроля: слева – трещина в корпусе архитрава пресса после капиллярной дефектоскопии, справа – ультразвуковой контроль резьбовой части колонны пресса

Высокоточные измерения пространственного положения базовых деталей и их рабочих поверхностей позволяет выявить геометрические отклонения, оказывающие негативное влияние на эксплуатационные характеристики и долговечность оборудования. Так, например, причиной воз-

никновения трещин в корпусе подвижной траверсы пресса 100 МН, показанных на рис.1, послужило перераспределение действующих напряжений в результате изменений условий контактного взаимодействия деталей. Изменение условий контакта связано с износом сопряжённых поверхностей траверсы и штамподержателя, который был выявлен при проведении измерений (рис.4).

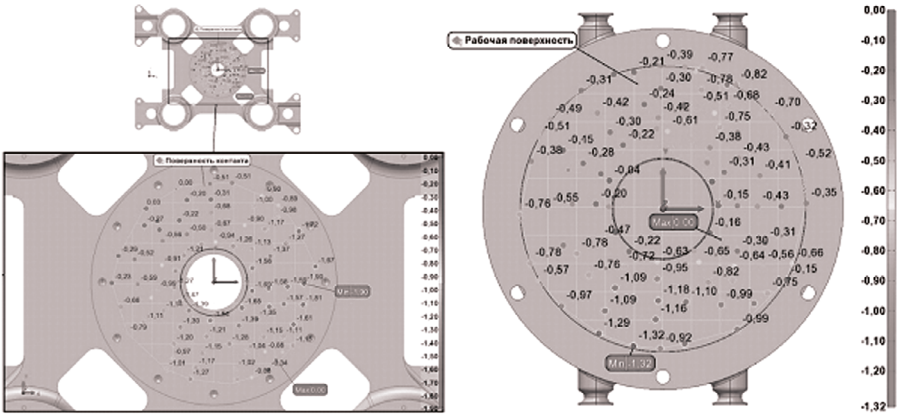


Рис.4. Результаты измерений поверхностей подвижной траверсы и штамподержателя

Определение причин образования трещин в корпусе подвижной траверсы позволило не только выполнить ремонт обнаруженных дефектов, но и внедрить технические решения по устранению причин их возникновения [1].

Метод электротензометрии применяется для экспериментального определения деформаций и последующего расчёта действующих напряжений в элементах конструкций при рабочих нагрузках. Наиболее широко он используется для контроля наличия достаточного усилия предваритель-

ного натяжения в колоннах [2]. Известно, что при отсутствии преднатяга колонн напряжения в резьбовых участках существенно возрастают, что в дальнейшем приводит к зарождению трещин в витках резьбы [3].

Контроль наличия предварительного натяжения колонн основан на сравнении графиков изменения напряжений в колонне и в поперечинах (основании и архитраве). Под действием усилия затяжки в поперечине возникают сжимающие напряжения. Если принять напряженное состояние поперечины на ненагруженном прессе за нулевое, то тензодатчик, установленный на колонном стакане, будет фиксировать растягивающие напряжения при нагружении пресса рабочей силой. Если стык при достижении максимального значения остаётся закрытым, то изменения в графиках напряжения в колонне и поперечине будут происходить синхронно, т.е. при увеличении рабочего усилия в местах установки тензодатчиков будет наблюдаться одновременный рост величины растягивающих напряжений, при сбросе рабочей нагрузки – одновременное падение величины растягивающих напряжений до нулевого значения. Если стык раскрывается до достижения максимального усилия прессования, т.е. усилие предварительного натяжения недостаточно по величине, то поперечина начинает воспринимать напряжения сжатия от рабочей нагрузки, поэтому в какой-то момент времени график напряжений будет иметь перелом, при этом будет наблюдаться дальнейший рост растягивающих напряжений в колонне (рис.5).

Данный комплексный подход к диагностике технического состояния оборудования позволил выявить причины образования эксплуатационных дефектов в конструкциях базовых деталей прессов, а также разработать технические решения по их восстановлению [4, 5].

Традиционно методы инженерной диагностики при-

меняются для оценки технического состояния оборудования, находящегося в эксплуатации, выявления дефектов, определения остаточного ресурса и обоснования дальнейшей безопасной работы. Вместе с тем практика показывает, что значительная часть проблем, проявляющихся в процессе эксплуатации, связана не только с накоплением усталостных повреждений, но и с отклонениями, допущенными на этапах изготовления, монтажа и ввода оборудования в эксплуатацию.

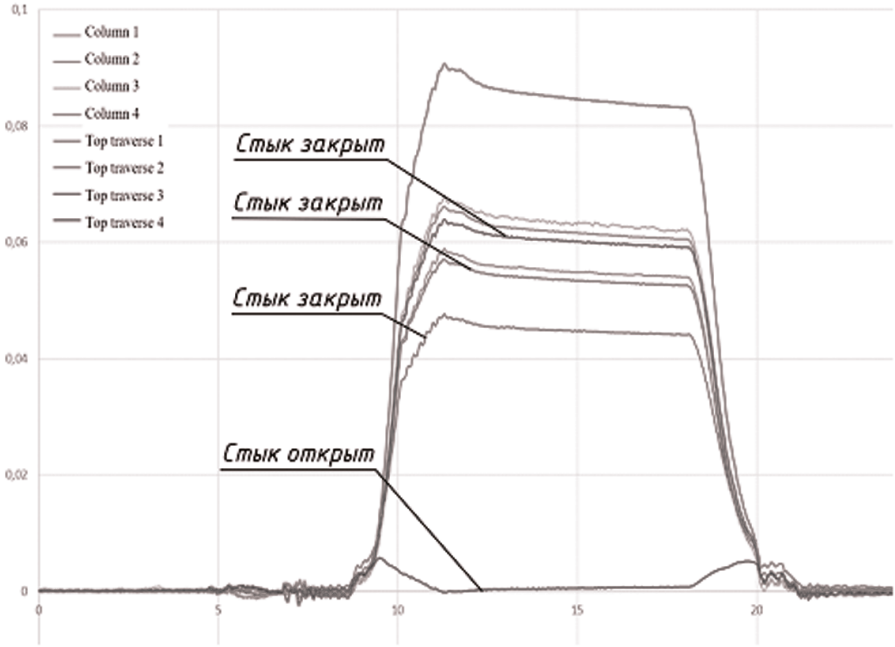


Рис.5. Результаты измерений напряжений в колоннах и архитраве пресса

Применение данных методов на этапе монтажа обе-

спечивает контроль фактического состояния оборудования, подтверждение соответствия проектным требованиям, выявление скрытых дефектов и отклонений геометрии ещё до начала производственной эксплуатации.

Стоит принять во внимание тот факт, что отсутствие этапов выходного контроля деталей оборудования и контрольной сборки на площадке изготовителя при поставке нового оборудования принимает всё более широкое распространение. Крупные детали нередко изготавливаются на разных предприятиях, что усложняет процесс последующего монтажа непосредственно на территории заказчика.

Таким образом, актуальной задачей становится внедрение комплексного подхода, при котором современные методы диагностики используются не только для обследования действующего оборудования, но и в качестве инструмента входного контроля узлов и деталей оборудования, последующего монтажа и пусконаладочных работ. Такой подход позволяет выявить конструктивные ошибки перед началом монтажных работ, существенно снизить риски возникновения аварийных ситуаций, повысить надёжность оборудования и создать основу для его дальнейшей эффективной и безопасной эксплуатации.

Применение данной методики подтвердило свою эффективность при проведении работ по сборке ковочного комплекса усилием 35 МН. При контроле сварных соединений стенок основания было обнаружено отсутствие сварных швов на стыках с внутренней стороны (рис.6), что существенно снижает несущую способность соединения при его нагружении и неизбежно приведёт к образованию трещин в процессе эксплуатации. Обнаружение подобного рода недоработок на ранней стадии позволяет принять меры по их устранению до ввода оборудования в эксплуатацию.

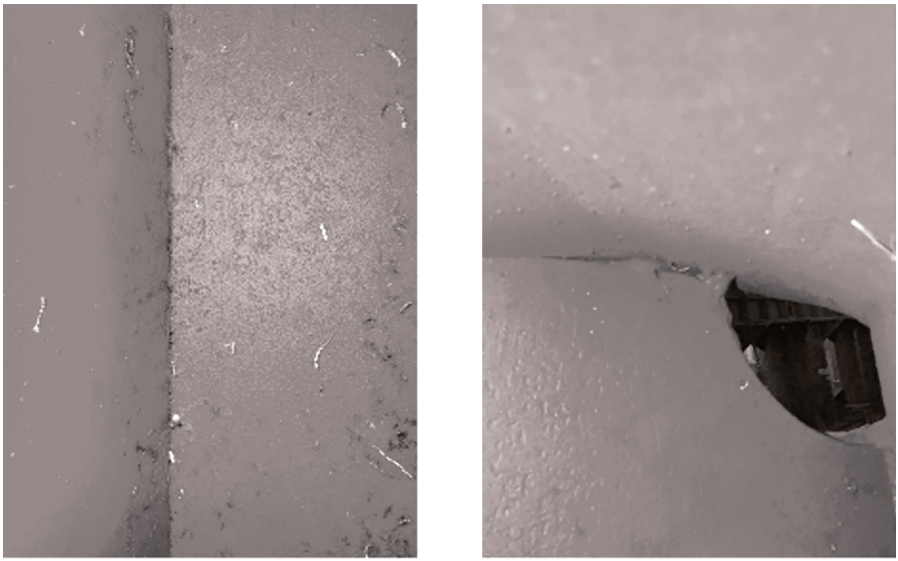


Рис.6. Отсутствие сварных швов на внутренних стыках стенок основания

Кроме того, применение лазерного трекера на стадии монтажа (рис.7) позволило выполнять оперативный контроль геометрии и пространственного положения узлов непосредственно в процессе сборки. Благодаря высокоточным измерениям были своевременно выявлены отклонения координат отверстий, несоответствия монтажных баз, прогибы несущих элементов и ошибки взаимного расположения деталей относительно проектных значений. Раннее обнаружение данных несоответствий позволило принять корректирующие меры до начала последующих этапов монтажа, предотвратить дорогостоящие переделки, сократить объём внеплановых работ и избежать значительных задержек в реализации этапов проекта.

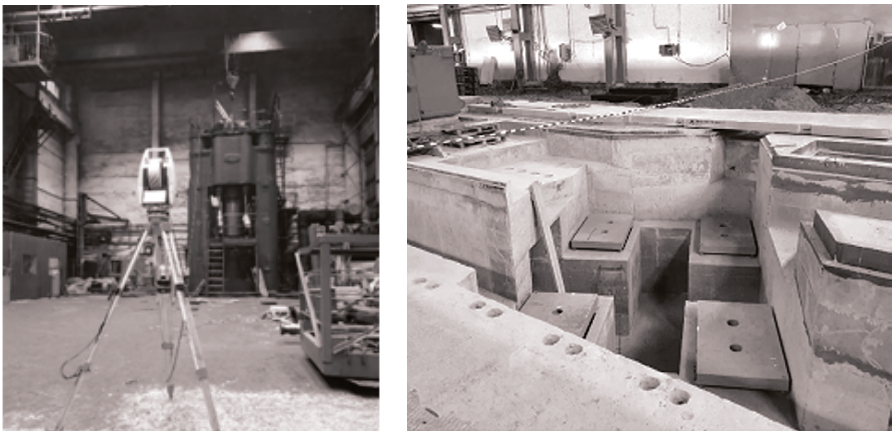


Рис.7. Контроль пространственного положения узлов ковочного комплекса при помощи лазерного трекера LeicaAT402

Литература

1. Кравцов Н.С. Влияние износа контактной поверхности подвижной траверсы гидравлического штамповочного пресса на её сопротивление усталости // Заготовительные производства в машиностроении. – 2024. – Т. 22, № 10. – С. 451-457.

2. Бехер С. А., Шляхтенков С.П., Выплавень В.В. [и др.] Контроль технического состояния резьбовых соединений силовой рамы пресса методами тензометрии // Тезисы докладов XXXIV Уральской конференции с международным участием, Пермь, 20–21 апреля 2023 года.

3. Сурков И.А., Тимохин И.В., Бондарь Д.С. Экспертиза состояния базовых деталей тяжелонагруженных металлургических машин и оборудования // Главный механик. – 2013. – № 7. – С. 50-61.

4. Кравцов Н.С., Сурков И.А. Исследование причин

возникновения трещин в поперечинах мощных гидравлических прессов в зонах действия сжимающих нагрузок // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 6. – С. 24-29.
5. Кравцов, Н.С., Тимохин И.В. Влияние фреттинг-износа на напряжённо-деформированное состояние цилиндров мощных гидравлических прессов // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2022. – № 2(19). – С. 52-57.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОРТАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ ПРИ МОНТАЖЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Козичко В.А. – главный инженер проектов, «100 тонн Промышленный такелаж», г.Екатеринбург

Введение

Актуальность: Монтаж тяжелого (десятки/сотни тонн) и габаритного кузнечно-прессового оборудования (листоштамповочные, ковочные, кривошипные прессы) часто происходит в действующих цехах с ограниченным пространством, низкими потолками, наличием работающего оборудования, коммуникаций. Традиционные методы (мостовые краны большой грузоподъемности) часто недоступны или экономически нецелесообразны.

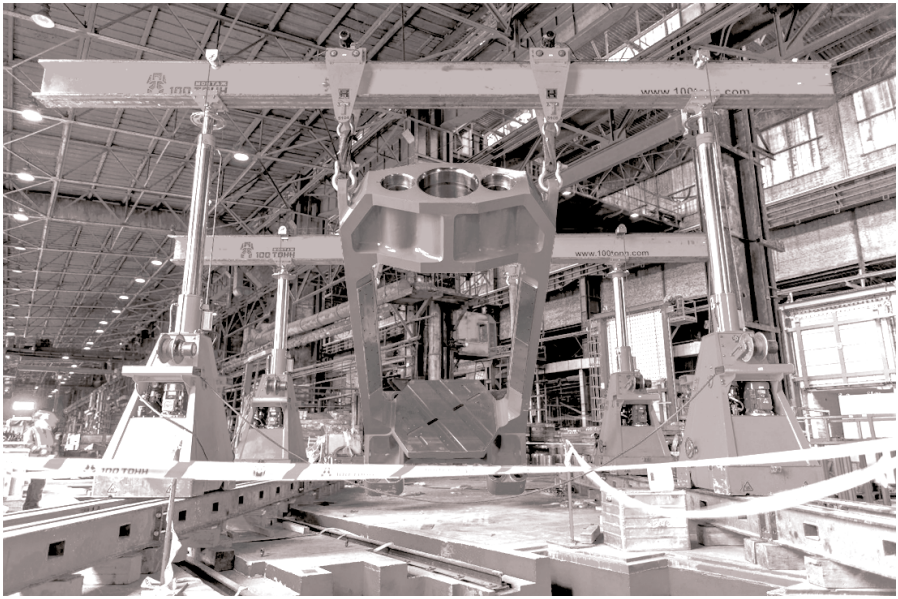
Проблема: Сложность позиционирования, риски повреждения существующей инфраструктуры, строгие требования к точности установки (особенно для высокоскоростных прессов, требующих идеальной геометрии), обеспечение безопасности.

Решение: Комбинация гидравлических портальных систем и специализированной такелажной оснастки становится ключевой технологией для успешного монтажа в стесненных условиях.

Гидравлические порталы – фундамент монтажа в тесноте

Порталы – это модульные системы на основе гидравлических домкратов, установленных на портальные рамы или опоры. Движение опор синхронизировано. Такие систе-

мы предназначены для подъема, удержания, точного позиционирования и опускания сверхтяжелых грузов.



Сборка пресса на металлургическом заводе с помощью портальной системы. г.Екатеринбург 2026г.

Ключевые преимущества для стесненных условий

• Компактность конструкции: позволяют работать под низкими потолками, где недостаточно высоты подъема мостового крана и не поместится автомобильный кран.

• Мобильность и модульность: системы собираются из отдельных модулей на месте, обходя препятствия. Легко конфигурируются под разные задачи и формы груза.

• Высокая грузоподъемность: способны поднимать оборудование массой от десятков до тысячи тонн.

• Точность позиционирования: гидравлика в сочетании с компьютерным управлением позволяет перемещать груз с точностью до миллиметров в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Критично для выверки прессов по уровню, соосности.

• Минимальная зона обслуживания: требуют меньше свободного пространства вокруг груза по сравнению с кранами.

• Безопасность: встроенные системы безопасности (предохранительные клапаны, датчики давления, синхронизация) минимизируют риск падения груза.

• Удобны для решения всех типовых задач при монтаже пресса:
– подъема и установки оснований, станин, ползуна, траверс
– промежуточного удержания компонентов для сборки
– точной юстировки и выверки узлов пресса относительно друг друга и фундамента
– обеспечения дозированной нагрузки на фундамент при затяжке анкерных болтов

Специализированная такелажная оснастка

Назначение: обеспечение безопасного захвата, подвеса, перемещения и маневрирования грузом в условиях ограниченного пространства.

Ключевые элементы и их роль в стесненных условиях:

• Такелажные тележки на электроприводе с поворотными платформами: Транспортировка тяжелых узлов пресса по цеху, маневрирование между оборудованием. Незаменимы при доставке пресса от ворот цеха к месту монтажа.

• Скиддинг-системы – это технология горизонтального перемещения крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Она используется в ситуациях, когда традиционные методы (например, применение транспортных модулей, тралов) невозможно из-за ограниченного пространства по высоте, недостатка доступа или необходимости прецизионного перемещения.

• Специальные траверсы и рамы: равномерное распределение нагрузки, подъем за нестандартные точки, обеспечение необходимого зазора над препятствиями. Позволяют обходить балки, коммуникации при подъеме.

• Синтетические стропы: легкие, гибкие, не повреждают поверхность оборудования. Незаменимы для сложных обвязок в тесноте, где стальные тросы или цепи могут зацепиться. Высокая прочность.

Синергия систем: примеры применения при монтаже пресса

Используется портал GP 380

Сценарий 1.

Установка станины пресса в условиях отсутствия цеховых ГПМ.



Части станины доставляются к месту монтажа с помощью рельсовых направляющих и моторизованных приводных тележек.



С помощью такелажных скоб, верхняя траверса поднимается гидравлическими домкратами портальной системы.







Гидравлика позволяет с точностью до миллиметра сдвинуть траверсу в нужное положение и установить на стойки.

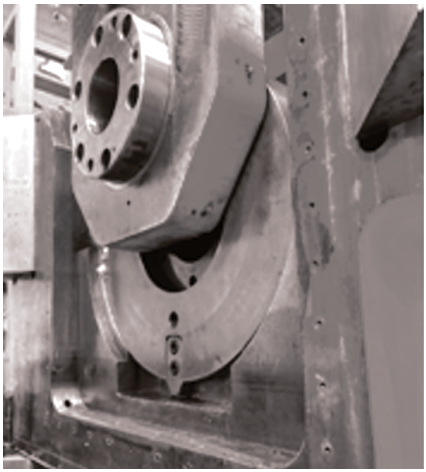
Сценарий 2.

Сборка и установка узла ползуна.

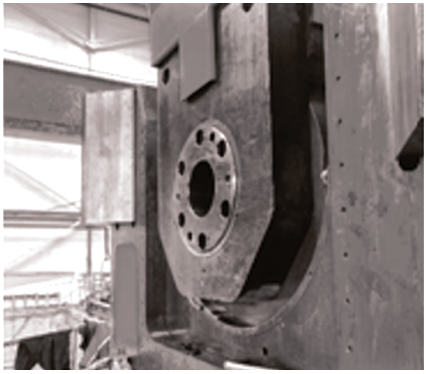
Ползун и шатун предварительно доставляются к месту монтажа в зону работы портальной системы.



Предварительная обвязка шатуна стропами и перемещение с помощью портальной системы к ползуну.



Точное соосное позиционирование оси шатуна и ползуна.



Запрессовка оси ползуна.

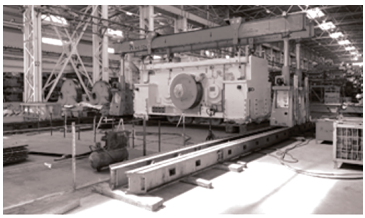


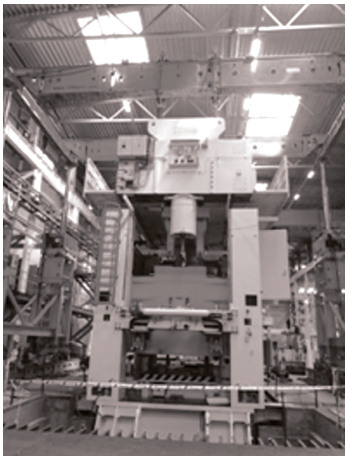


Строповка ползуна, подъём, перемещение и установка с точным позиционированием по направляющим.

Вес ползуна в сборе с шатуном 66 тонн, высота от нулевой отметки до фермы 12600 мм., приямок (– 3100) мм, верхняя точка пресса 7000 от нулевой точки.

Примеры монтажа тяжеловесных частей гидравлического и механического прессового оборудования с помощью портальных систем. Масса головной части от 120 до 200 тонн, подъем на высоту, установка.





Сценарий 3.

Использование порталов в ремонте прессов.

В последнее время вырос спрос на капитальный ремонт прессов. И поскольку мы занимаемся ремонтным направлением, то видим, сколько проблем решают порталы во время этого процесса. Это и демонтаж на этапе дефектовки, и последующая сборка тяжелых частей. Например, недавно мы устанавливали ползун массой 29 т в цехе, где грузоподъемность крана составляла всего 20 т.



Преимущества монтажа с помощью современных такелажных технологий.

• Безопасность: снижение риска аварий, травм, повреждения оборудования благодаря контролируемым перемещениям и современным системам безопасности.

• Эффективность: ускорение монтажа за счет точности и маневренности, минимизация простоев производства в цеху.

• Точность: гарантированное соблюдение жестких допусков на установку кузнечно-прессового оборудования (геометрия, уровень, соосность), что критично для его работы.

• Гибкость: возможность работать в самых сложных пространственных ограничениях.

• Снижение затрат: часто дешевле и быстрее, чем

аренда/строительство крановых путей или демонтаж кровли.

Ключевые факторы успеха.

• Тщательное планирование: детальный ППР (проект производства работ) с 3D-моделированием, расчетами нагрузок, выбором оптимальных точек подхвата и траекторий движения.

• Квалифицированный персонал: такелажники и операторы гидравлических систем должны иметь высокую квалификацию и опыт работы в сложных условиях.

• Качественное оборудование: использование сертифицированных, исправных систем и оснастки от надежных поставщиков.

• Четкая коммуникация: безупречное взаимодействие между бригадой такелажников, монтажниками, инженерами и представителями заказчика.

• Строгий контроль безопасности: неукоснительное соблюдение инструкций, проведение инструктажей, использование СИЗ.

Заключение.

Монтаж кузнечно-прессового оборудования в условиях стесненного пространства действующих производств – сложнейшая инженерная задача. Комбинация гидравлических портальных систем и современной специализированной такелажной оснастки – не просто удобный инструмент, а необходимое условие для ее безопасного, точного и эффективного решения. Инвестиции в эти технологии и квалификацию персонала окупаются за счет снижения рисков, сокращения сроков монтажа и обеспечения долгосрочной надежной работы дорогостоящего прессового оборудования.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИТАЙСКО-РОССИЙСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ТЯЖЕЛОМУ КУЗНЕЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА ПОСТАВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ НА БАЗЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОВОЧНОГО ПРЕССА УСИЛИЕМ 31,5 МН

Чжэ Чен – главный инженер, SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения), г.Сиань, провинция Шэньси, Китай.
Электронная почта: jack.chen@sinoberun.com

Хуэйюань Го – помощник по международным делам, SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения), г.Сиань, провинция Шэньси, Китай.
Электронная почта: freya@sinoberun.com

В данной статье представлено описание технической реализации производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса для свободной ковки усилием 31,5 МН, поставленного SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения) (г.Сиань, Китай) российскому предприятию по производству специальных сталей для авиационной, энергетической и нефтехимической промышленности. Исследование рассматривает проект в контексте возможностей компании SINOBERUN в области комплексных технических решений для свободной ковки, включая гидравлические ковочные прессы, ковочные манипуляторы, загрузочные манипуляторы и системы автоматизации. Объем инженерно-технических работ и сведения о ходе проекта в статье представлены описательно. В соответствии с положениями о конфиденциальности договора поставки конкретная сумма контракта и подробные технические параметры не подлежат разглашению. Статья

предназначена для использования в качестве справочного материала для покупателей тяжелого ковочного оборудования, рассматривающих технические решения для операций ковки от китайских поставщиков, а также в качестве основы для дальнейшего обсуждения способов импортозамещения в российской кузнечной отрасли промышленности.

Ключевые слова: свободная ковка; гидравлический ковочный пресс; ковочный манипулятор; 31,5 МН; SINOBERUN; китайско-российское сотрудничество

Введение

Свободная ковка – это отработанная технология изготовления, предназначенная для производства крупногабаритных и тяжелых поковок. Она применяется в условиях с высокими требованиями к механической целостности изделий, степени деформации материала и гибкости управления процессом деформации. Типовые изделия включают валы роторов и генераторов для энергетики, гребные валы и рулевые штанги для судостроения, элементы сосудов, работающих под давлением, корпуса клапанов и фланцы для энергетической и обрабатывающей промышленности, а также крупные кольцевые и дисковые заготовки для аэрокосмической отрасли и общего машиностроения.

Гидравлический пресс для свободной ковки обеспечивает большие усилия при пластической деформации заготовки. Усилие пресса выбирается в зависимости от размеров и массы заготовки, материала и температурных условий, требуемых коэффициентов деформации и обжатия, а также возможностей соответствующих ковочных манипуляторов и другого вспомогательного оборудования. Для указанной области применения прессы усилием около 30 МН представляют собой проверенное техническое реше-

ние для производства широкого спектра поковок средних и крупных размеров при выполнении стандартных операций ковки крупногабаритных и тяжелых поковок.

В рамках этого контекста в данной статье описывается недавно завершенный китайско-российский проект, включающий проектирование, изготовление, поставку, монтаж и ввод в эксплуатацию производственной линии на базе гидравлического пресса усилием 31,5 МН для российского металлургического предприятия, имеющего многолетний опыт производства специальных сталей и сплавов. Пресс был спроектирован, изготовлен и введен в эксплуатацию компанией SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения) (г.Сиань, Китай), китайским поставщиком технических решений, предназначенных для свободной ковки. Проект является частью программы модернизации оборудования российской кузнечной отрасли промышленности в рамках действующей политики импортозамещения и используется в данной статье в качестве примера для представления компании, ее технических возможностей и способов сотрудничества с российскими заказчиками и заказчиками из стран СНГ.

В настоящей статье авторы ставят перед собой три цели: (1) на примере проекта поставки производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса ус. 31,5 МН представить компанию SINOBERUN в качестве китайского поставщика технических решений, предназначенных для свободной ковки,; (2) дать качественное описание хода реализации проекта поставки производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса ус. 31,5 МН; (3) обозначить основные направления текущего сотрудничества компании с предприятиями кузнечной отрасли промышленности России и стран СНГ. В соответствии с условиями конфиденциальности по договору поставки конкретная

сумма контракта, подробные параметры оборудования и внутренние производственные данные заказчика не подлежат разглашению. По этой причине статья представлена в виде обзора технических решений и производственных возможностей, а не детального раскрытия проектных данных.

О компании

Компания SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения), основанная в 2018 году и расположенная в городе Сиань, провинция Шэньси, Китай, является производителем и поставщиком технических решений и специализируется на производстве ковочного оборудования для свободной ковки и высокоскоростной ковки. Компания занимается проектированием, разработкой, производством, монтажом, вводом в эксплуатацию и техническим обслуживанием ковочного оборудования и вспомогательного оборудования. Ассортимент оборудования, выпускаемого компанией, включает гидравлические ковочные прессы, гидравлические ковочные манипуляторы, загрузочные манипуляторы, а также системы промышленной цифровизации и автоматизации. Указанное оборудование может поставляться как отдельно, так и в составе комплектных производственных ковочных линий в соответствии с конкретными технологическими и производственными требованиями. Компания также предоставляет техническую поддержку на протяжении всего жизненного цикла оборудования, включая ввод в эксплуатацию, техническое обслуживание, поставку запасных частей, модернизацию и инженерные услуги, связанные с технологическими процессами.

Компания поставляет ковочное оборудование для обработки титановых сплавов, высокотемпературных спла-

вов, высоколегированных сталей и других высокоэффективных металлических материалов. Оборудование компании используется в таких отраслях, как аэрокосмическая отрасль, энергетика, судостроение и на современных производствах. К ковочному оборудованию предъявляется требование по обеспечению большого усилия ковки, точного контроля пластической деформации, стабильности технологического процесса и надёжной долговременной эксплуатации.

С технической точки зрения, компания SINOBERUN проводит инженерно-исследовательскую деятельность, связанную с проектированием и анализом тяжелого ковочного оборудования. Метод конечных элементов (МКЭ, FEA) применяется при проектировании конструкции станины пресса, а также для численного анализа ковочного процесса и расчета усилий ковки при свободной ковке. Данные расчеты используются для обоснования конструктивного проектирования оборудования, оценки технологических режимов и разработки ковочных технических решений для сложных условий ковки материалов и изделий.

Компания сотрудничает с известными международными поставщиками гидравлического, электрического оборудования и систем управления при разработке и интеграции ковочного оборудования. Оборудование и инженерно-технические услуги, предоставляемые компанией, в основном поставляются промышленным заказчикам в Китае, при этом есть опыт реализации проектов и постоянное развитие бизнеса в странах СНГ, Индии и Европе. Компания SINOBERUN стремится внести свой вклад в разработку и применение передовых технологий ковки для материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, успешно сочетая технические решения, производственные возможности, технологические процессы и техническую поддержку

на протяжении всего жизненного цикла.

История проекта поставки производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса усилием 31,5 МН

Заказчик является одним из старейших и крупнейших российских металлургических предприятий, занимающихся производством специальных марок стали и сплавов. Ассортимент выпускаемой продукции включает углеродистые, легированные, высоколегированные, нержавеющие и инструментальные стали, а также никелевые и другие сплавы для авиационной, энергетической, химической и машиностроительной промышленности.

Для модернизации своих производственных мощностей, предназначенных для свободной ковки, компания объявила открытый тендер на покупку гидравлического пресса для свободной ковки усилием 30 МН. В соответствии с техническими требованиями пресс должен быть предназначен для горячей ковки тяжелых стальных слитков и комплектоваться ковочным манипулятором соответствующей грузоподъемности. После технико экономического сравнения представленных вариантов компания SINOBERUN была выбрана в качестве поставщика, отвечающего за проектирование, изготовление, поставку, монтаж и пусконаладочные работы всей производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса.

Выбор компании SINOBERUN был обусловлен тремя факторами, указанными заказчиком: (1) соответствие предложенной конструкции пресса техническим требованиям; (2) способность поставщика поставить оборудование в конкурентоспособные сроки — фактор, имеющий особое значение в контексте политики импортозамещения Рос-

сийской Федерации в области тяжелого оборудования; (3) готовность поставщика оказывать техническую поддержку по оборудованию на протяжении всего срока службы, включая поставку запасных частей, техобслуживание на месте и другую техническую поддержку.

Оборудование, входящее в состав производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса усилием 31,5 МН

Представленная компанией SINOBERUN производственная линия на базе гидравлического ковочного пресса усилием 31,5 МН является высокоскоростной производственной линией, предназначенной для свободной ковки стальных поковок. Производственная линия состоит из одного высокоскоростного ковочного пресса Модель OF2S, двухколонный пресс с рабочим ходом вниз (push-down), двух ковочных манипуляторов серии D и одного подъемно поворотного стола.

Таблица 1

наименование	модель SINOBERUN	количество
высокоскоростной ковочный пресс для свободной ковки, двухколонный	OF2S-31.5 МН	1
рельсовый ковочный манипулятор, серия D	RFM-D 300 кН / 600 кН·м	2
подъем поворотного стола	LTT 300кН	1

Ковочный пресс

Высокоскоростной ковочный пресс для свободной ковки Модель OF2S имеет двухколонную конструкцию с рабочим ходом вниз (push-down), в которой главный гидравлический цилиндр закреплен в верхней траверсе и обеспечивает перемещение подвижной траверсы вниз. Такая конструкция стала признанным стандартом для гидравлических ковочных прессов благодаря стабильной передаче усилия.

При номинальном рабочем давлении пресс обеспечивает номинальное усилие ковки 31,5 МН. Для ковки заготовок меньшего размера, а также для окончательной ковки, предусмотрены две промежуточные ступени усилия, 21,0 МН и 10,5 МН, что позволяет оператору регулировать приложенное усилие в широком диапазоне. В условиях горячей ковки пресс обеспечивает точность ковки ±1 мм, а частота рабочих ходов достигает 80–120 ходов в минуту при частичной нагрузке. Станина предварительно напряжена, отклонение колонн составляет 35°.

Работа гидравлической системы включает три этапа: быстрый подвод вниз, ковка и быстрый отвод. На стадии быстрого подвода (хода вниз) низконапорный бак и наполнительный резервуар осуществляют быструю подачу рабочей жидкости в главный цилиндр через верхний наполнительный клапан. Специально спроектированные клапаны снижают сопротивление при наполнении, предотвращают кавитацию, вызванную недостатком подачи жидкости, и обеспечивают повышенную скорость подвода. На стадии ковки нагнетание создают высоконапорные аксиально поршневые насосы серий REXROTH A4FO и A4VSO/HS5, которые отличаются высокой надежностью и длительным сроком службы. На стадии быстрого отвода специальная станция

аккумуляторов увеличивает ускорение отвода и улучшает динамические характеристики системы. Одновременно осуществляется рекуперация энергии замедления и потенциальной энергии силы тяжести подвижной траверсы при переходе от быстрого подвода (хода вниз) к режиму ковки; накопленная энергия высвобождается на стадии отвода, что позволяет снизить энергопотребление и тепловыделение в системе. При разгрузке главного цилиндра гидравлическое масло сначала поступает в буферный резервуар, после чего направляется в низконапорный бак и наполнительный резервуар. Буферный резервуар выполняет функцию гидравлической пружины, обеспечивая более плавный и малошумный процесс разгрузки, а также дополнительно уменьшает гидравлические удары.

Ковочный манипулятор

Пресс работает с двумя рельсовыми ковочными манипуляторами серии SINOBERUN D, Модель RFM-D, с грузоподъёмностью 300 кН и крутящим моментом 600 кН•м.

Серия D представляет собой стандартный тип рельсовых ковочных манипуляторов компании SINOBERUN, охватывающий весь диапазон грузоподъемности от 10 кН до 5500 кН. Каждый манипулятор характеризуется высокой производительностью и длительным сроком службы, имеет шесть степеней свободы для обеспечения универсального позиционирования обрабатываемых заготовок, высокой скорости перемещения 1000 мм/с, быстрого зажима 5 с, класса герметичности, исключающего утечки, пускового ускорения 2,5° для плавной работы во время операции ковки. На силовом агрегате манипулятора установлен большой гидравлический аккумулятор для обеспечения стабильного гидравлического питания во время высокоско-

ростной работы.

Для работы манипуляторов предусмотрено четыре режима управления — ручной, полуавтоматический, автоматический и программный — в соответствии с различными процессами ковки и производственными требованиями. Ручной режим работы предназначен в первую очередь для пробной ковки, мелкосерийного производства и особых или нестандартных условий, при этом управление всеми движениями пресса и манипулятора осуществляет оператор. Полуавтоматический режим работы сочетает автоматическое управление прессом на основе заданных параметров прохода с ручным управлением манипулятором, обеспечивая большую эксплуатационную гибкость при традиционной ковке. Автоматический режим работы позволяет осуществлять скоординированное управление прессом и одним или двумя манипуляторами, поддерживая непрерывную ковку стандартных и длинных заготовок. Программная ковка дополнительно интегрирует заданные параметры многопроходного процесса в систему управления ПЛК, обеспечивая полностью автоматизированное и стандартизированное выполнение полного цикла ковки, тем самым уменьшая участие оператора и повышая стабильность процесса и однородность выпускаемой продукции.

Вспомогательное оборудование

Производственная ковочная линия также включает подъемный поворотный стол, Модель LTT 300 кН (грузоподъемность 300 кН). Подъемный поворотный стол является незаменимым вспомогательным оборудованием высокоскоростной ковочной линии, позволяющим повысить эффективность ковки более чем на 50%, он предназначен для выполнения вспомогательной операции смены позиции

и ориентации обрабатываемой заготовки в процессе ковки. Он состоит в основном из масляного цилиндра и направляющего устройства. Масляный цилиндр обеспечивает вертикальное перемещение подъемной рамы, а скорость подъема контролируется системой управления ПЛК. Подъемный механизм оснащен датчиком перемещения для определения положения подъема, что позволяет осуществлять автоматический подъем. Вращательный приводной механизм состоит из главного двигателя, редуктора, шестерни, вращающегося подшипника и опорной платформы. Вращение контролируется ПЛК и может произвольно вращаться на 360°. Основание и подъемная рама сварены из стальных пластин, а инновационная конструкция не только обеспечивает более стабильное движение подъемной рамы, но и снижает эксплуатационные и технические расходы оборудования.

Все подсистемы производственной линии, включая пресс, два манипулятора и вспомогательное оборудование, координируются автоматизированной системой управления. Система гарантирует синхронизацию пресса и манипуляторов во время ковки, управление циклом ковки, блокировку между ковочной линией и печью повторного нагрева заказчика, сбор и визуализацию данных процесса, внедрение энергосберегающих стратегий управления, а также управление на уровне линии системами смазки, противопожарной защиты и системами безопасности.

Производство, монтаж и ввод в эксплуатацию

После завершения проектирования производственной линии, ее изготовление, монтаж на месте и ввод в эксплуатацию осуществляются в рамках скоординированной программы под руководством компании SINOBERUN.

Производство

Пресс 31,5 МН, два манипулятора RFM-D и сопутствующее вспомогательное оборудование изготавливаются компанией SINOBERUN в рамках единой скоординированной производственной программы и проходят контроль качества и приемочные испытания перед отгрузкой. Контроль качества осуществлялся на протяжении всего производственного процесса, а не ограничивался этапом окончательной проверки. В соответствии с нормативными и документационными требованиями заказчика, компания SINOBERUN также подготовила соответствующую документацию по качеству и сертификаты качества на русском языке. Все это обеспечило контролируемую поставку полного комплекта оборудования на производство заказчика.

Монтаж и ввод в эксплуатацию

Монтаж производственной ковочной линии на объекте выполняется в соответствии с условиями монтажа, опубликованными компанией SINOBERUN. Данные документы регламентируют требования к фундаментам, монтажным допускам, условиям окружающей среды и интерфейсам с инфраструктурой заказчика и служат общей базой для подготовки площадки и монтажа оборудования.

Объем монтажных работ включает пресс, два ковочных манипулятора RFM D, сопутствующее вспомогательное оборудование и систему автоматизированного управления. Монтажные работы выполняются совместно выездной технической службой компании SINOBERUN и персоналом заказчика в соответствии с установленной последовательностью монтажа и техническими требованиями. На данном этапе технические проблемы, выявленные в ходе инспек-

ций на месте и проверки точек подключения, фиксируются, анализируются и устраняются совместно инженерным и выездным сервисным персоналом, после чего приступают к последующим пусконаладочным работам.

После завершения монтажа механического оборудования и электромонтажа выполняется поэтапная пусконаладка производственной ковочной линии. Сначала проводятся предпусконаладочные проверки для подтверждения качества монтажа и готовности гидравлической, электрической, смазочной, управляющей систем и систем безопасности. Далее выполняются испытания на холостом ходу для проверки функций отдельных единиц оборудования, а также совместной работы пресса, манипуляторов и вспомогательных устройств. После этого проводятся испытания под нагрузкой и пробные ковки с постепенным увеличением интенсивности работы для оценки характеристик системы.

Такой поэтапный подход обеспечивает плавный переход от стадии монтажа к промышленной эксплуатации.

Обсуждение

Опыт системной интеграции и ввода в эксплуатацию

Для производственной линии, предназначенной для свободной ковки, эксплуатационные характеристики системы зависят не только от статической мощности и конструкции пресса, но и от динамической координации пресса, манипулятора, вспомогательного оборудования, гидравлической системы и автоматизации.

В данном проекте до ввода в эксплуатацию под нагрузкой был выполнен ввод в эксплуатацию без нагрузки. Такой поэтапный подход позволил постепенно проверить механические, гидравлические, электрические и управля-

ющие подсистемы, прежде чем система была подвергнута условиям эксплуатации, характерным для производства.

Опыт проекта показывает, что успешный ввод в эксплуатацию интегрированной производственной ковочной линии требует тесного взаимодействия на всех этапах работы (проектирование оборудования, изготовление, монтаж, интеграция системы управления и техническая поддержка на месте), так как это напрямую влияет на стабильность процесса и эффективность работы.

Международный опыт реализации технического проекта

Проект также предоставляет международный практический опыт внедрения комплектного ковочного оборудования. Поставка включала координацию на всех этапах: проектирование оборудования, производство, транспортировка, монтаж, ввод в эксплуатацию, а также взаимодействие между поставщиком оборудования и конечным пользователем.

С инженерной точки зрения, такие проекты требуют достаточно подробных технических требований для установления четких взаимосвязей между основными подсистемами и определения необходимых условий эксплуатации и критериев приемки. Непрерывная техническая коммуникация во время производства и ввода в эксплуатацию также важна для решения проблем взаимодействия и адаптации системы к условиям конкретного объекта.

Таким образом, опыт, полученный в рамках этого проекта, может быть актуален для внедрения аналогичных систем в других международных промышленных средах, особенно там, где требуется полная интеграция оборудования и локальная поддержка при вводе в эксплуатацию.

Ограничения данной работы

Данная статья написана в форме технического обзора и анализа возможностей, а не подробного описания конструкции. Конкретные суммы контракта, подробные параметры оборудования и внутренние производственные данные заказчика не разглашаются в соответствии с положениями о конфиденциальности договора поставки. В статье также не представлено количественное сравнение пресса 31,5 МН с другими прессами; такое сравнение потребовало бы раскрытия внутренних производственных данных заказчика, что выходит за рамки данной статьи. Планируется публикация следующей статьи, рассчитанной на более узкую техническую аудиторию, в которой более подробно будут рассмотрены технические решения, принятые заказчиком.

Заключение

В данной статье представлен технический проект по созданию производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса для свободной ковки усилием 31,5 МН, поставленного SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd. (завод тяжелого машиностроения) (г.Сиань, Китай) российскому сталелитейному предприятию. Пуск без нагрузки и с нагрузкой производственной линии на базе гидравлического ковочного пресса был завершен в апреле 2026 года, а ввод в эксплуатацию под нагрузкой состоялся в августе 2026 года. Проект демонстрирует практическую реализацию комплексной ковочной системы в соответствии с заданными техническими и эксплуатационными требованиями.

Инженерный опыт, полученный в ходе проекта, может послужить полезным ориентиром для проектирования,

интеграции и ввода в эксплуатацию гидравлических ковочных прессов средней мощности, предназначенных для свободной ковки. В частности, скоординированная реализация проекта поставки пресса, манипулятора, вспомогательного оборудования и системы автоматизации подчеркивает важность системного проектирования для достижения стабильной и надежной работы производственной линии, предназначенной для свободной ковки.

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ВЫПУСКАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ LANZHOU LS HEA VY INDUSTRY CO., L TD. «ЛАНЬШИ ТЯЖМАШ»

LANZHOU LS HEA VY INDUSTRY Co., L TD. (сокращённое наименование – «Ланьши Тяжмаш») основана в 1992 году. Компания является одним из первых в Китае государственных высокотехнологичных предприятий, специализирующихся на разработке и производстве оборудования для обработки металлов давлением. Опираясь на преимущества комплексов гидравлических прессов для скоростной ковки и комплексов гидравлических радиально-ковочных машин, компания располагает компетенциями в области проектирования, изготовления и сервисного обслуживания интеллектуальных кузнечных производственных линии типа «скоростная ковка + радиальная ковка». Она имеет статус национального специализированного и инновационного предприятия категории «Малый гигант», входит в двадцатку ведущих предприятий Китая по производству кузнечного оборудования, включена в первую группу предприятий - отраслевых чемпионов обрабатывающей промышленности провинции Ганьсу и занимает лидирующие позиции в китайской отрасли оборудования для обработки металлов давлением.

Компания имеет две дочерние организации в Шанхае и Сиане и сформировала стратегическую структуру научно-технических разработок, продаж и сервисного обслуживания по модели «одна производственная база - два внешних центра». Компания предоставляет заказчикам надёжную продукцию и высококачественное обслуживание, полностью ориентируется на потребности клиентов и содействует их успешному развитию. К настоящему времени

компания спроектировала и изготовила для китайских и зарубежных заказчиков около 400 комплектов оборудования для скоростной ковки.

Ориентируясь на потребности клиентов, компания стремится к устойчивому долгосрочному росту и взаимовыгодному сотрудничеству. В Китае созданы две дочерние компании - в Шанхае и Сване, а также два центра послепродажного обслуживания - в Баоцзи и Уси.

За рубежом при поддержке Группы «Ланьши» учреждены пять международных филиалов - в России, на Ближнем Востоке, во Франции и США, обеспечивающих сквозное управление полным циклом деятельности, связанном с продукцией и сервисным обслуживанием.

Производственные мощности литейного производства

• Производительность: 100 000 т жидкой стали в год; максимальная масса слитка - 80 т.

• Типоразмеры слитков: квадратные, восьмигранные, плоские и электродные слитки массой от 3 до 80 т.

• Технические показатели: C < 0,01 %, O < 20 ppm, N < 100 ppm, H < 2 ppm; выплавка слитков из легированных конструкционных сталей, сверх низкоуглеродистых нержавеющих сталей, жаропрочных сплавов на железоникелевой и никелевой основе.

• Строящийся объект: производственная линия, включающая 20-тонную дуговую электропечь EAF и 20-тонную установку вакуумно-кислородного обезуглероживания VODC, предназначенную для экономичного производства высококачественных низкоуглеродистых и высокоазотистых нержавеющих сталей, коррозионностойких и никелевых сплавов.

Цифровизация плавильного производства

• Интеллектуальная система дозирования на базе 5G: точное взвешивание стального лома и автоматическое формирование шихты.

• Интеллектуальная машина для скачивания шлака: точное распознавание шлакового слоя, быстрое удаление шлака и повышение качества продукции.

• Интеллектуальная система разливки: программное управление скоростью разлива, обеспечивающее качество слитков.



45-тонная установка ковшевой доводки стали LF



дуговые электропечи вместимостью 10, 20 и 30 т





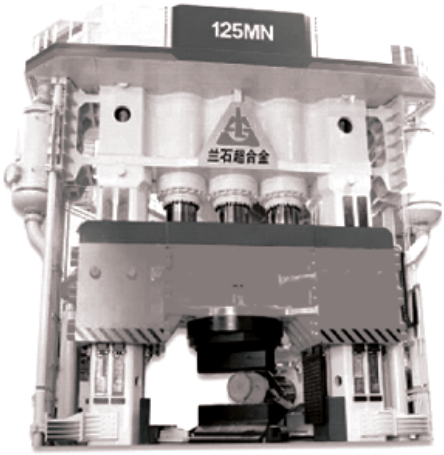


30-тонная установка вакуумной обработки и вакуумно-кислородного обезуглероживания VD/VOD

15-тонная индукционная печь средней частоты

10/20-тонная установка аргонно-кислородного и вакуумно-кислородного обезуглероживания VD/VOD

Ковочное оборудование



Гидравлический пресс для скоростной ковки усилием 125 МН позволяет получать поковки из жаропрочных сплавов: 6 – 25 т, титановых сплавов: 8 – 18 т, легированных сталей: 20 – 60 т, нержавеющих сталей: 15 – 40 т.





гидравлический пресс для скоростной ковки
усилием 50 МН

радиально-осевой кольцераскатной стан для колец до 4 м

радиально-ковочная машина усилием 18 МН



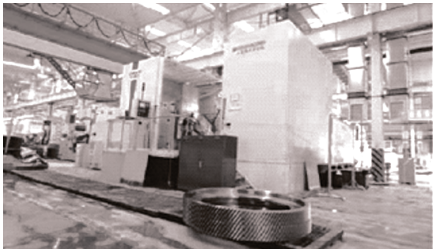


гидравлический пресс усилием 10 МН

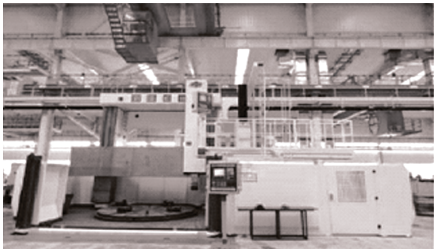
электро-гидравлический ковочный молот
с массой падающих частей 5 т

нагревательные, термические печи и системы закалки

Оборудование для механической обработки



крупногабаритный зубофрезерный станок с ЧПУ



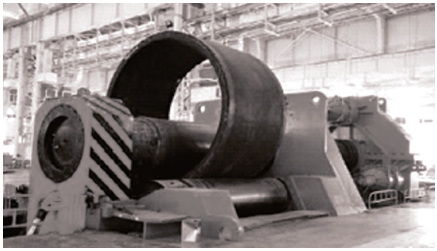
двухстоечный токарно-карусельный станок с ЧПУ



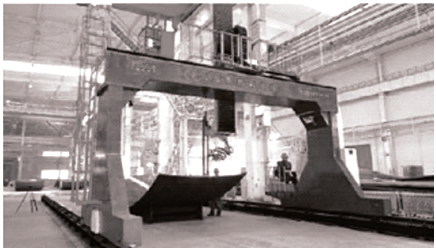
крупногабаритный портальный расточно-фрезерный станок с ЧПУ



тяжелый горизонтальный токарный станок



тяжелые четырехвалковые листогибочные вальцы с гидроприводом



станок с ЧПУ для резки листовых заготовок сферических оболочек

Продукция компании LANZHOU LS HEA VY INDUSTRY Co., L TD. «Ланьши Тяжмаш»

• Автоматизированные производственные линии

• Комплексы гидравлических прессов для скоростной ковки усилием от 3,15 МН до 300 МН.

• Гидравлические радиально-ковочные машины различных типоразмеров от 0,8 МН до 25 МН.

• Специальное кузнечно-прессовое оборудование различного назначения.

• Вспомогательное кузнечное оборудование (манипулятор рельсовые, промышленные роботы большой грузоподъемности, плавильные машины, беспилотные мостовые краны и др.)

• Прямые и ступенчатые поковки валов, поковки прокатных валков, кольцевые поковки, втулочные поковки, дисковые поковки, квадратные поковки, плоские прямоугольные поковки.

Компания «Ланьши» поставила более 400 единиц и комплектов гидравлического оборудования для скоростной ковки китайским и зарубежным заказчикам, в том числе в Россию, Республику Корея, Мьянму, Таиланд, Индию, Пакистан, страны Ближнего Востока и другие страны и регионы.

QFORM — ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гладков Ю.А. – директор по развитию и продажам ООО «КванторФорм», канд. техн. наук, доцент кафедры МТ-6 МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Аннотация

В статье рассмотрена практика применения программного комплекса QForm для моделирования процессов обработки металлов давлением и показано его значение как цифрового инструмента технологической подготовки производства. Рассмотрены основные направления применения комплекса при разработке технологий объемной и листовой штамповки, прокатки, прессования и термической обработки. Особое внимание уделено возможностям прогнозирования дефектов, анализа течения металла, оценки ресурса инструмента и моделирования микроструктуры материала. Показано, что применение виртуального моделирования позволяет существенно сократить сроки подготовки производства, снизить затраты на экспериментальные исследования и повысить качество выпускаемой продукции.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, компьютерное моделирование, QForm, конечно-элементный анализ, объемная штамповка, листовая штамповка, прокатка, прессование, цифровые технологии.

Введение

Развитие современного машиностроения сопровождается постоянным ростом требований к качеству продукции, эффективности технологических процессов и срокам освоения новых изделий. В условиях высокой конкуренции

предприятия стремятся минимизировать затраты на подготовку производства, сократить количество экспериментальных работ и обеспечить стабильное качество продукции уже на этапе запуска технологии.

Одним из наиболее эффективных инструментов решения этих задач стало компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Если ранее виртуальный эксперимент рассматривался преимущественно как средство проверки разработанной технологии, то сегодня он превратился в полноценный инструмент инженерного анализа, позволяющий принимать технические решения еще до изготовления технологической оснастки.

Именно на этом принципе основано применение программного комплекса QForm[5], который на протяжении многих лет используется промышленными предприятиями, научно-исследовательскими организациями и высшими учебными заведениями для разработки и совершенствования технологий обработки металлов давлением.

За время развития QForm превратился из специализированной программы для моделирования процессов объемной штамповки в многофункциональную платформу инженерного анализа, позволяющую моделировать широкий спектр технологических процессов: объемную и листовую штамповку, прокатку, прессование, термическую и химико-термическую обработку, а также прогнозировать изменение структуры материала и ресурс технологического инструмента.

Почему именно QForm

Одной из основных особенностей современных систем моделирования является необходимость обеспечения высокой точности расчета при сохранении удобства практического использования инженерами-технологами.

В отличие от универсальных конечно-элементных программных комплексов, ориентированных на решение широкого круга механических задач, QForm разрабатывался специально для моделирования процессов обработки металлов давлением. Благодаря такой специализации в программе реализованы математические модели, учитывающие особенности специальных технологических процессов, такие как модели больших пластических деформаций, контактного взаимодействия инструмента и заготовки, теплообмена, трения, движения инструментов.

Важным преимуществом комплекса является применение адаптивной конечно-элементной сетки, автоматически перестраиваемой по мере изменения формы изделия. Это позволяет сохранять высокую точность расчетов даже при значительных степенях деформации и обеспечивает корректное моделирование сложных технологических процессов.

Современные версии QForm включают специализированные решатели для различных процессов обработки металлов давлением, модули анализа микроструктуры и размера зерна при термомеханической обработке, моделирования фазовых превращений при расчете термической обработки, прогнозирования разрушения материала, оценки износа инструмента и другие [5, 8]. Благодаря этому инженер получает возможность исследовать практически весь технологический цикл изготовления изделия в рамках единой программной среды.

Виртуальный эксперимент в QForm, как ключевой метод при отладке технологических процессов

Современные требования к технологической подготовке производства значительно превосходят задачи, которые решались системами компьютерного моделирования

еще несколько десятилетий назад. Если первоначально основным результатом расчета являлось получение формы готового изделия и определение усилия деформирования, то сегодня инженеру необходим значительно более широкий объем информации, позволяющий оценить физические процессы, происходящие в материале, инструменте и оборудовании на протяжении всего технологического цикла.

Программный комплекс QForm предоставляет пользователю именно такой инструментарий. Благодаря специализированным математическим моделям и алгоритмам конечно-элементного анализа программа позволяет исследовать процессы пластического деформирования с высокой степенью детализации и получать информацию, недоступную при проведении традиционного производственного эксперимента.

Использование QForm позволяет выполнять виртуальную отработку технологии еще до изготовления оснастки, анализировать влияние различных технологических параметров, сравнивать несколько вариантов процесса и выбирать наиболее эффективное инженерное решение. При этом моделирование становится не заменой реального эксперимента, а его логическим продолжением, позволяющим существенно сократить объем дорогостоящих производственных испытаний.

Среди наиболее востребованных возможностей комплекса можно выделить анализ течения металла, прогнозирование технологических дефектов, оценку напряженно-деформированного состояния инструмента, моделирование процессов листовой штамповки, прокатки и прессования, прогнозирование изменения микроструктуры материала, а также расчет процессов термической и химико-термической обработки.



Рис.1. Основные направления применения программного комплекса QForm в технологической подготовке производства

Анализ течения металла

Одной из ключевых возможностей QForm является моделирование процесса течения металла на всех стадиях деформирования. Именно анализ кинематики течения материала позволяет инженеру понять причины возникновения большинства технологических проблем еще до изготовления штамповой оснастки.

В процессе расчета программа определяет распределение скоростей течения металла, степень накопленной пластической деформации, изменение температурного поля, контактные напряжения, усилия деформирования и другие параметры процесса. Полученная информация представляется в наглядной графической форме и может быть проанализирована как для отдельных этапов деформирования, так и в динамике всего технологического про-

цесса.

Особую ценность представляет возможность исследования внутренних областей заготовки, недоступных при проведении натурного эксперимента. Инженер получает возможность наблюдать процесс формирования изделия практически «изнутри», анализируя изменение напряженно-деформированного состояния материала, распределение температуры и особенности взаимодействия металла с инструментом.

Практика показывает, что именно анализ течения металла является отправной точкой при поиске рациональных технологических решений. Изменение формы исходной заготовки, корректировка конструкции ручьев штампа, выбор оптимального температурного режима или последовательности переходов становятся значительно более обоснованными, если инженер располагает полной информацией о поведении материала в процессе деформирования.

Виртуальный эксперимент нередко предоставляет значительно больший объем информации, чем реальное производственное испытание, поскольку позволяет анализировать параметры процесса, недоступные для непосредственного наблюдения.

Значимым примером оценки течения металла моделированием является анализ макроструктуры и волокнистого строения в штампованной заготовке (рис. 2).

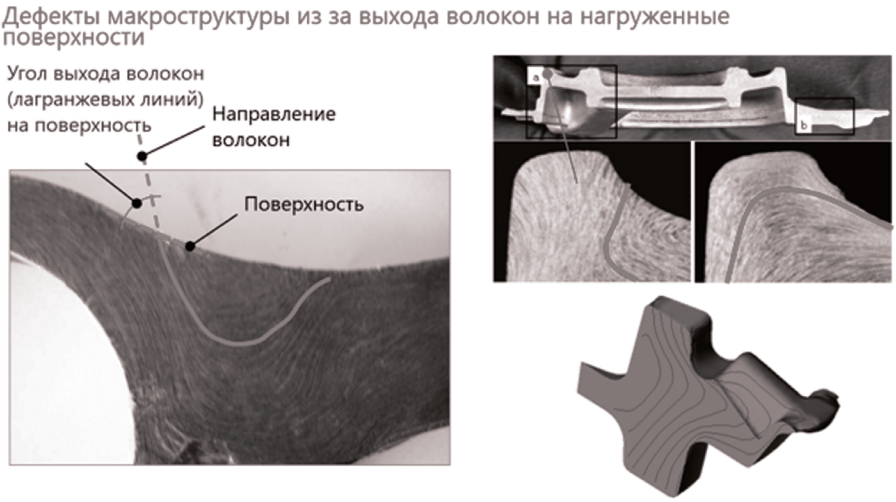


Рис.2. Анализ течения металла при объемной штамповке в QForm

Прогнозирование технологических дефектов

Одной из наиболее востребованных возможностей QForm является прогнозирование технологических дефектов изделий. Для большинства предприятий именно этот этап определяет экономическую эффективность применения компьютерного моделирования, поскольку позволяет избежать дорогостоящей доработки инструмента после изготовления первых опытных партий.

В процессе моделирования QForm автоматически выявляет зоны потенциального образования складок, незаполнения ручьев штампа, утяжин, прострелов и других дефектов, возникающих вследствие особенностей течения металла. При этом инженер получает возможность определить не только место возникновения дефекта, но и проследить механизм его формирования.

Так, образование складок связано с локальным самоконтактом поверхности заготовки, возникающим при нерациональном распределении потоков металла. В ходе моделирования программа фиксирует момент возникновения самоконтакта и отображает красными точками соответствующие участки поверхности изделия, позволяя своевременно скорректировать конструкцию инструмента или параметры технологического процесса.

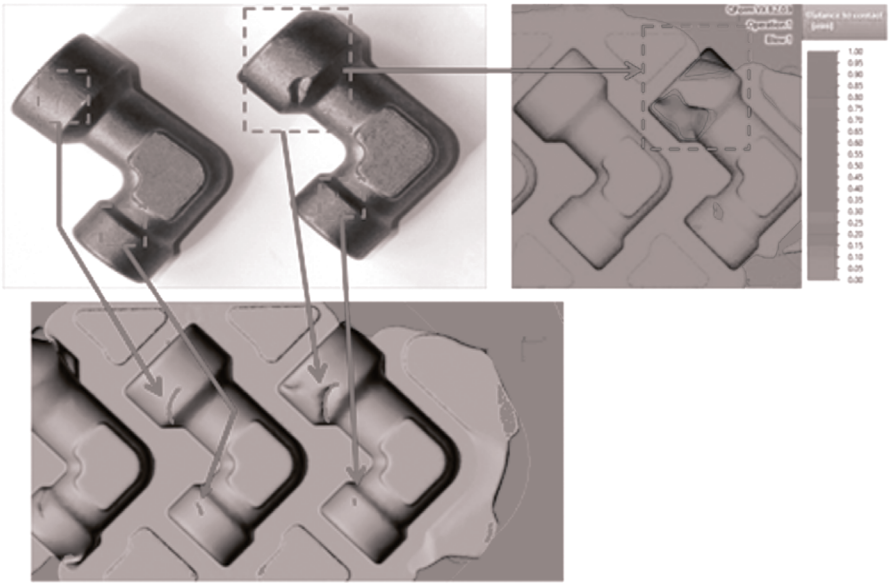


Рис.3. Прогнозирование образования складок

Не менее важной является возможность анализа незаполнения полости штампа. Используя информацию о контакте между инструментом и заготовкой, QForm определяет области, в которых материал не достигает рабочей поверхности штампа, что позволяет количественно оценить степень незаполнения и выбрать наиболее эффективный

способ устранения дефекта.

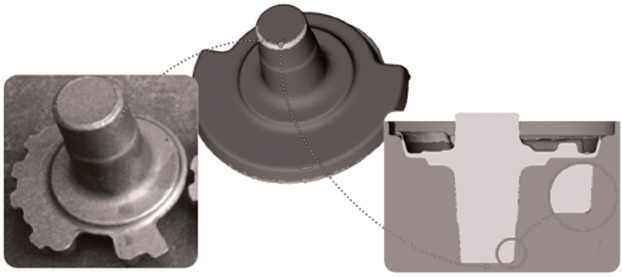


Рис.4. Анализ незаполнения полости штампа

Для оценки вероятности разрушения материала в комплексе реализованы современные критерии повреждаемости, включая критерий Кокрофта-Лэтэма и другие модели, широко применяемые при моделировании процессов обработки металлов давлением [2, 5, 8]. Использование этих критериев позволяет прогнозировать вероятность образования трещин на ранних стадиях проектирования технологии и принимать решения по изменению геометрии заготовки или режимов деформирования.

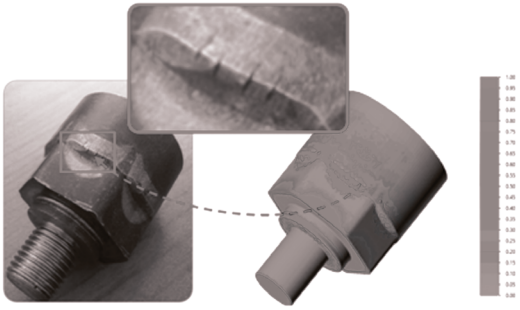


Рис.5. Прогнозирование разрушения материала по критерию Кокрофта-Лэтэма

Практический опыт внедрения QForm показывает, что именно анализ причин возникновения дефектов чаще всего становится основой для оптимизации технологии и сокращения количества опытных штамповок. Возможность наблюдать развитие дефекта во времени позволяет инженеру перейти от устранения последствий к устранению причин его возникновения.

Анализ напряженно-деформированного состояния и ресурса инструмента

При разработке технологий обработки металлов давлением внимание инженера традиционно сосредоточено на качестве получаемой поковки или профиля. Однако не менее важной задачей является обеспечение работоспособности технологической оснастки. Стоимость инструмента может составлять в цене изделия до 30%, а иногда и более. Поэтому прогнозирование ресурса инструмента является одним из важнейших направлений применения компьютерного моделирования.

В программном комплексе QForm реализованы средства анализа напряженно-деформированного состояния инструмента, позволяющие учитывать его упругую деформацию при взаимодействии с заготовкой. Такой подход обеспечивает достоверное определение контактных напряжений, распределения нагрузок и износа, возникающих в наиболее нагруженных участках инструмента.

Полученные результаты позволяют выявлять потенциально опасные зоны еще на стадии проектирования технологии и принимать решения по изменению технологии и/или конструкции инструмента, выбору материала, условий эксплуатации. Это особенно важно при изготовлении крупногабаритных поковок и деталей сложной конфигурации,

где ошибки проектирования могут привести к преждевременному разрушению дорогостоящей оснастки.

Дополнительным преимуществом QForm является возможность прогнозирования малоцикловой термомеханической усталости инструмента. При многократных циклах нагрева и охлаждения рабочие поверхности штампа испытывают сложное напряженное состояние, приводящее к накоплению повреждений. Использование моделей малоцикловой усталости позволяет оценивать ожидаемый ресурс инструмента и своевременно корректировать конструкцию наиболее нагруженных элементов.

Кроме того, в комплексе реализованы модели оценки износа рабочих поверхностей инструмента. Анализ распределения контактных давлений и скоростей относительного скольжения позволяет прогнозировать наиболее интенсивные зоны изнашивания и выбирать оптимальные технологические параметры, обеспечивающие увеличение срока службы оснастки.

Практика внедрения QForm показывает, что использование подобных расчетов позволяет существенно сократить расходы на изготовление и доводку инструмента, а также повысить стабильность технологических процессов за счет своевременного выявления потенциальных проблем.



Рис.6. Анализ малоцикловой усталости технологического инструмента в QForm

Моделирование процессов листовой штамповки

В последние годы область применения QForm существенно расширилась за счет развития специализированного модуля моделирования листовой штамповки. При моделировании листовой штамповки особое значение имеют процессы локального утонения материала, образование гофр, возникновение разрывов и влияние ортотропии механических свойств листового проката. В QForm используются специализированные гексаэдрические конечные элементы и современные модели пластичности, позволяющие учитывать особенности поведения тонколистовых материалов при сложном напряженном состоянии.

В ходе расчета инженер получает возможность анализировать изменение толщины материала, распределение пластических деформаций, характер течения металла и вероятность возникновения дефектов с помощью диаграммы предельного формоизменения (FLD) на каждом этапе технологического процесса. Дополнительно выполняется оценка усилий деформирования, контактного взаимодействия инструмента с заготовкой и упругого пружинения изделия после разгрузки.

Использование компьютерного моделирования позволяет существенно сократить объем экспериментальных исследований при проектировании штамповой оснастки и обеспечить получение изделий с требуемыми геометрическими характеристиками уже на этапе разработки технологии.

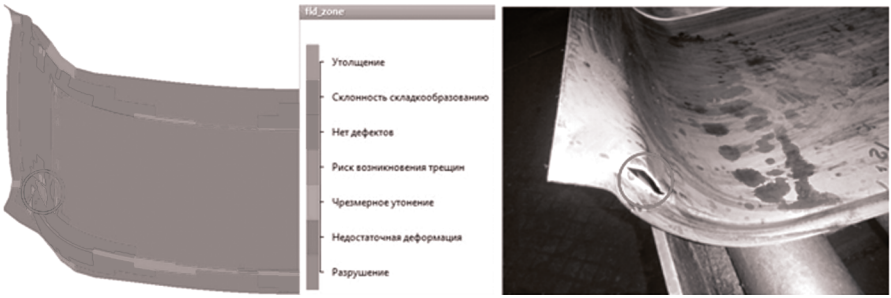


Рис.7. Моделирование процесса листовой штамповки в QForm

Прогнозирование микроструктуры материала

Одной из наиболее перспективных возможностей современных версий QForm является моделирование эволюции микроструктуры материала в процессе пластической деформации. В отличие от традиционного подхода, ориентированного преимущественно на получение требуемой геометрии изделия, современные технологии все чаще требуют обеспечения заданного комплекса механических свойств, определяемых структурным состоянием материала.

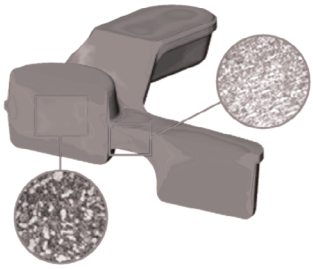


Рис.8. Прогнозирование размера зерна и процессов рекристаллизации в QForm

В программном комплексе реализованы математические модели статической, динамической и метадинамической рекристаллизации, позволяющие прогнозировать изменение размера зерна в зависимости от температуры, степени деформации и скорости нагружения. Расчет выполняется непосредственно в процессе моделирования, что позволяет анализировать взаимосвязь между параметрами технологического процесса и формированием структуры материала.

Результаты моделирования представляются в виде полей распределения размера зерна и степени рекристаллизации, позволяющих оценить однородность структуры по объему изделия. Такой подход особенно востребован при производстве ответственных деталей авиационного, энергетического и транспортного машиностроения для однофазных аустенитных сталей, где требования к размеру зерна являются определяющими.

Использование моделей микроструктурной эволюции позволяет инженеру выбирать рациональные температурно-деформационные режимы обработки, обеспечивающие получение требуемых характеристик материала без проведения многочисленных металлографических исследований.

Моделирование процессов термической и химико-термической обработки

Получение изделия требуемой формы является лишь одним из этапов технологического процесса. Во многих случаях окончательные эксплуатационные свойства деталей формируются в результате последующей термической или химико-термической обработки. Поэтому возможность моделирования этих процессов является важным элементом современной системы инженерного анализа.

В QForm реализованы специализированные модули расчета процессов закалки, отпуска, старения и других видов термической обработки с учетом изменения температурного поля, фазовых превращений, остаточных напряжений и объемных эффектов, сопровождающих структурные преобразования материала.

Дополнительно поддерживается моделирование процессов химико-термической обработки, включая цементацию, азотирование, борирование, а также насыщение поверхности металлом – хромирование, никелирование, алитирование. Программа рассчитывает распределение концентрации легирующих элементов, глубину диффузионного слоя после обработки.

Типовой процесс вакуумной цементации (ASM Handbook, Vol. 4 Heat Treating)



Результаты моделирования цементации - концентрация [%] углерода (рассмотрен фрагмент заготовки высотой 1 мм):

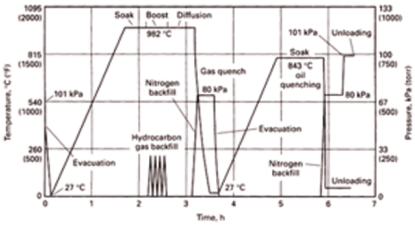


Рис.9. Моделирование процесса цементации

Комплексный анализ процессов пластической деформации, формирования структуры и последующей термической обработки позволяет рассматривать весь технологический цикл изготовления изделия как единую взаимосвязанную систему. Именно такой подход лежит в основе современных концепций цифрового проектирования технологических процессов и позволяет значительно повысить достоверность инженерных расчетов.

Моделирование процессов прокатки и прессования

Развитие современных технологий обработки металлов давлением сопровождается постоянным усложнением технологических процессов и повышением требований к качеству готовой продукции. Особенно это относится к металлургическим процессам прокатки и прессования, где одновременно необходимо учитывать сложное напряженно-деформированное состояние материала и инструмента, изменение температурного поля, контактное взаимодействие с инструментом и формирование структуры металла.

Программный комплекс QForm предоставляет широкий набор специализированных средств для моделирования процессов волочения, продольной, винтовой и реверсивной прокатки, а также прессования изделий различной конфигурации. В версии QForm 12 стало возможным эффективное моделирование листовой прокатки [1]. Использование единой математической платформы позволяет анализировать как отдельные технологические операции, так и полный маршрут изготовления изделия, обеспечивая преемственность расчетов между различными стадиями обработки.

При моделировании процессов прокатки QForm рассчитывает распределение температуры, усилий и моментов прокатки, скоростей течения металла, накопленной степени деформации и напряженно-деформированного состояния материала. Полученные результаты позволяют оценивать полноту проработки структуры металла, определять рациональные режимы деформирования и прогнозировать возникновение внутренних дефектов.

Особое место занимает моделирование процессов винтовой прокатки, широко применяемой при производстве трубных заготовок и редуцирования сплошных прутков. Благодаря анализу пространственного течения метал-

ла инженер получает возможность исследовать механизм формирования дефектов, оценивать влияние режимов деформации на качество прошивки и выбирать оптимальные параметры технологического процесса. Практические результаты моделирования подобных процессов подробно представлены в работах Галкина С.П. [6] и М.М. Скрипаленко и соавторов [9].

Развитие специализированного продукта QForm Extrusion начиная с версии QFormVX [10], значительно расширило возможности моделирования процессов прессования [3, 4]. Современные технологии производства алюминиевых профилей предъявляют высокие требования к точности геометрических размеров изделий, качеству сварных соединений потоков металла, стабильности течения материала и качеству поверхности. В программе реализованы специализированная модель совместного течения деформируемого металла и упруго деформируемого инструмента, обеспечивающая точность расчета и позволяющая анализировать процесс формирования профиля, распределение скоростей и температур, а также условия образования продольных неразъемных соединений.

Использование QForm при моделировании процессов прокатки и прессования позволяет не только сократить объем дорогостоящих производственных экспериментов, но и значительно повысить качество инженерных решений за счет анализа физических процессов, протекающих в материале на протяжении всего технологического цикла.

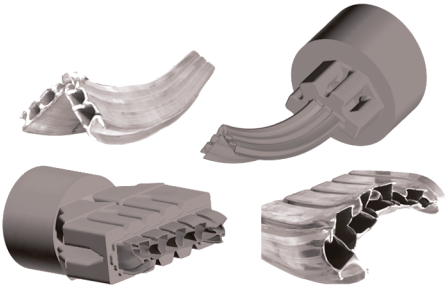


Рис.10. Моделирование процессов прессования в QFormExtrusion

Практический эффект применения QForm

Внедрение программного комплекса QForm в практику технологической подготовки производства оказывает комплексное влияние на эффективность работы предприятия. В отличие от традиционного подхода, основанного на последовательном выполнении опытных работ и корректировке технологии по результатам производственных испытаний, компьютерное моделирование позволяет перенести значительную часть исследований в виртуальную среду.

Одним из наиболее важных результатов применения QForm является сокращение сроков разработки технологических процессов. Благодаря возможности анализа нескольких вариантов технологии инженер получает инструмент объективного сравнения различных решений без изготовления опытной оснастки и проведения дополнительных производственных экспериментов. Это особенно важно при освоении новых изделий, когда стоимость ошибок на стадии подготовки производства может быть весьма значительной.

Практика внедрения комплекса показывает, что

использование моделирования позволяет существенно уменьшить количество пробных штамповок и экспериментальных запусков оборудования. Большинство конструктивных и технологических решений принимается еще до начала изготовления инструмента, что значительно снижает материальные затраты и сокращает продолжительность технологической подготовки производства.

Не менее важным результатом является повышение качества выпускаемой продукции. Возможность анализа течения металла, прогнозирования образования дефектов, оценки состояния инструмента и моделирования микроструктуры материала обеспечивает комплексный подход к проектированию технологических процессов и позволяет учитывать взаимное влияние различных факторов на конечный результат.

Существенное значение имеет и повышение эффективности использования технологической оснастки. Анализ напряженно-деформированного состояния инструмента, прогнозирование его ресурса и моделирование процессов изнашивания позволяют своевременно корректировать конструкцию наиболее нагруженных элементов и повышать надежность эксплуатации оборудования.

От виртуального моделирования к реальной эффективности

Развитие современных систем компьютерного моделирования изменило сам подход к технологической подготовке производства. Если еще сравнительно недавно моделирование воспринималось как инструмент проверки уже разработанной технологии, то сегодня оно становится основой принятия инженерных решений на всех этапах разработки технологического процесса.

Многолетний опыт внедрения программного комплек-

са QForm на предприятиях машиностроительной, металлургической, авиационной, автомобильной и других отраслей промышленности показывает, что наибольший эффект достигается тогда, когда моделирование используется не как завершающий этап проектирования, а как его неотъемлемая часть. В этом случае инженер получает возможность последовательно анализировать влияние каждого технологического решения на качество готового изделия, ресурс инструмента и экономическую эффективность производства.

Практически любой процесс обработки металлов давлением представляет собой совокупность взаимосвязанных физических явлений. Изменение температуры нагрева, формы исходной заготовки, конструкции ручья штампа, скорости деформирования или условий трения неизбежно влияет на течение металла, распределение напряжений, образование дефектов и эксплуатационные характеристики изделий. Оценить подобное взаимное влияние только по результатам производственного эксперимента крайне сложно, поскольку эксперимент позволяет увидеть лишь конечный результат процесса.

Использование QForm принципиально меняет ситуацию. Виртуальное моделирование позволяет проследить весь процесс деформирования во времени, определить причины возникновения технологических дефектов, оценить эффективность предлагаемых изменений и выбрать оптимальное инженерное решение еще до изготовления дорогостоящей оснастки. Именно поэтому компьютерный эксперимент становится не заменой реального производства, а инструментом его подготовки.

Следует подчеркнуть, что применение QForm не исключает необходимости проведения производственных испытаний. Напротив, результаты моделирования позволяют значительно сократить их объем и сделать эксперимент

целенаправленным. Вместо поиска причин возникновения дефектов после изготовления инструмента предприятие получает возможность проверить уже оптимизированную технологию, существенно сокращая сроки освоения новой продукции.

Важным преимуществом является и возможность накопления инженерных знаний. Каждая выполненная модель становится частью цифровой базы предприятия, которая может использоваться при разработке аналогичных технологических процессов, обучении молодых специалистов и совершенствовании существующего производства. Таким образом, компьютерное моделирование постепенно превращается в элемент корпоративной инженерной культуры, обеспечивающий преемственность технологического опыта.

Опыт практического применения программы показывает, что максимальная эффективность достигается при ее интеграции в ежедневную работу технологических служб. В этом случае моделирование используется не только при разработке новых изделий, но и при анализе причин появления брака, оптимизации действующих технологий, оценке последствий изменения характеристик материала, выборе оборудования и повышении ресурса технологической оснастки. Именно такой подход позволяет наиболее полно реализовать потенциал цифровых технологий в современном заготовительном производстве.

Заключение

Компьютерное моделирование сегодня является одним из ключевых инструментов технологической подготовки производства в области обработки металлов давлением. Использование современных CAE-систем позволяет

существенно повысить качество инженерных решений, сократить сроки освоения новой продукции и снизить производственные затраты за счет переноса значительной части исследований в виртуальную среду.

Представленные возможности программного комплекса QForm подтверждают, что современная система моделирования должна обеспечивать комплексный анализ всего технологического процесса. Помимо расчета течения металла и формирования изделия, инженер получает возможность прогнозировать образование технологических дефектов, анализировать напряженно-деформированное состояние инструмента, моделировать процессы прокатки, прессования, листовой штамповки и формирования микроструктуры материала.

Особое значение имеет то обстоятельство, что применение QForm позволяет перейти от анализа последствий к анализу причин. Исследование физических процессов, протекающих в заготовке и инструменте на протяжении всего цикла деформирования, обеспечивает принятие технических решений на основе объективной расчетной информации, а не только результатов производственных испытаний. Такой подход значительно повышает эффективность технологической подготовки производства и снижает риски при освоении новых изделий.

Практический опыт внедрения комплекса на промышленных предприятиях свидетельствует о том, что использование виртуального моделирования способствует сокращению количества опытных штамповок, снижению расхода материалов, повышению стойкости инструмента и уменьшению сроков подготовки производства. При этом наиболее важным результатом является изменение самой методологии разработки технологических процессов, при которой большинство инженерных решений принимается

до изготовления оснастки и запуска оборудования.

Таким образом, QForm сегодня представляет собой не только современный программный комплекс для конечно-элементного моделирования процессов обработки металлов давлением, но и цифровой инструмент эффективного заготовительного производства, обеспечивающий переход от виртуального моделирования к реальному повышению эффективности промышленного предприятия.

Литература

1. Олимжонов Ж. О., Шербутаев Н. И., Татару А. С. Сравнительный анализ результатов моделирования процесса прокатки горячекатаного листового проката в среде QForm VX с техническими характеристиками ЛПК АО «Узметкомбинат» // Литьё и металлургия. 2024. № 1.

2. Бурлаков И. А., Забельян Д. М., Бондаренко А. К., Леонидов А. Н. Рациональное использование ресурса пластичности при холодной штамповке листовых заготовок на основе критериев Кокрофта и Колмогорова // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 12. С. 3–8.

3. Kniazkin I., Kulakov I., Raedt H.-W., Duzhev A. Automated Bearing and Prechamber Optimization Based on Simulation // Aluminium Extrusion Industry. 2021. No. 10. P. 36–38.

4. Negozio M., Pelaccia R., Donati L., Reggiani B., Pinter T., Tomesani L. Finite Element Model Prediction of Charge Weld Behaviour in AA6082 and AA6063 Extruded Profiles // Journal of Materials Engineering and Performance. 2021.

5. Власов А. В., Стебунов С. А., Евсюков С. А., Биба Н. В., Шитиков А. А. Конечно-элементное моделирование технологических процессов ковки и объемной штамповки : учебное пособие / под ред. А. В. Власова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019.

6. Галкин С. П., Стебунов С. А., Алещенко А. С., Власов А. В., Патрин П. В., Фомин А. В. Моделирование и экспериментальная оценка условий кольцевого разрушения при горячей радиально-сдвиговой прокатке // Металлург. 2020. № 3. С. 55–61.

7. Гладков Ю. А., Каневский С. С. Моделирование прессования алюминиевых профилей в новой версии программы QForm Extrusion VX: совместная деформационная задача // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 11. С. 41–48.

8. Власов А. В. Моделирование тепловых процессов при обработке металлов давлением методом конечных объемов в программе QForm // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 11. С. 21–24.

9. Скрипаленко М. М., Баженов В. Е., Скрипаленко М. Н., Романцев Б. А., Ба Хюи Чан, Гартвиг А. А., Гладков Ю. А. Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования прошивки слитков в двухвалковом стане винтовой прокатки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 12. С. 22–25.

10. Князькин И. С., Власов А. В. Особенности кинематики образования продольного неразъемного соединения при прессовании алюминиевых профилей и анализ существующих критериев качества // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 12. С. 13–17.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КРЕПЁЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Посалина А.Е., Юдаев Ю.А., А.С. Асаев А.С., Паршин А.Н., Давыдов А.П.
Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г.Рязань

Аннотация

В работе представлены результаты исследования процесса изготовления высокопрочных крепёжных изделий класса прочности 8.8 и выше из стали 20Г2Р с двухфазной феррито-мартенситной структурой (ДФМС). Разработана математическая модель индукционного нагрева для получения ДФМС посредством неполной закалки из межкритического интервала температур, решение которой осуществляется методом конечных разностей. Установлено, что прогрев цилиндрической заготовки до температуры 750 °С осуществляется за 16 с, при этом максимальная скорость нагрева центральной точки наблюдается в интервале 0–4 с.
Ключевые слова: двухфазная феррито-мартенситная структура, сталь 20Г2Р, индукционный нагрев, межкритический интервал температур, математическое моделирование, уравнение теплопроводности.

Введение

В современных производственных условиях процесс изготовления высокопрочных крепежных изделий (классом прочности 8.8 и выше) из углеродистых и низколегированных сталей включает подготовку металла для холодной

объемной штамповки (удаление окалины с поверхности горячекатаного проката, сфероидизирующий отжиг, травление, фосфатирование, омыливание и калибровку на технологический размер), непосредственно холодную объемную штамповку, накатку резьбы, окончательную упрочняющую термическую обработку готовых изделий (закалку и отпуск), нанесение защитного покрытия и другие операции [1, 2].

Крепежные изделия составляют 30–40 % от общего количества деталей в современных машинах [1, 2]. Ежегодная потребность автомобильной промышленности Российской Федерации в крепеже достигает 60 тыс. тонн [3]. На один легковой автомобиль приходится 3000–5600 крепежных изделий, а операции с ними составляют 20–26 % трудозатрат при обслуживании техники [4]. В условиях импортозамещения и необходимости обеспечения технологического суверенитета отечественного машиностроения задача снижения себестоимости и трудоёмкости производства высокопрочного крепежа приобретает особую значимость.

Наиболее энергоёмкими и затратными этапами традиционной технологии являются подготовка металла и окончательная упрочняющая термическая обработка. Критические недостатки классической схемы производства:

• энергозатраты на термообработку составляют 30–40 % от общих производственных затрат;
• трудоёмкость достигает 46,5 ч/т;
• длительность производственного цикла.

Существенного снижения энергозатрат и сокращения трудоёмкости изготовления высокопрочных крепежных изделий требуемого класса прочности возможно достичь за счёт деформационного упрочнения в процессе холодной объёмной штамповки углеродистых и низколегированных сталей (10, 20, 20Г2Р, 30Г1Р и др.) со специально подготовленной структурой — без завершающего термоупрочнения

[3, 4]. Использование деформационного упрочнения сталей с предварительно сформированной структурой ДФМС позволяет увеличить показатель деформационного упрочнения в 1,5–2 раза по сравнению с традиционными отожжёнными структурами.

Важным преимуществом ДФМС является не столько высокая прочность и пластичность сами по себе, сколько возможность получения оптимального сочетания этих свойств, недостижимого при других вариантах технологии получения низколегированных сталей. [1-4]. Высокий предел текучести готовых деталей (550…650 МПа) формируется вследствие деформационного упрочнения при штамповке.

Ранее в работах [1–3] была рассмотрена возможность применения двухфазных феррито-мартенситных сталей для производства высокопрочных крепежных изделий. Показано, что использование подготовленного металла с такой структурой позволяет исключить окончательную термическую обработку в виде закалки и отпуска.

Термическая обработка в виде неполной закалки из межкритического интервала температур (МКИ) в производственных условиях проводится с применением индукционного нагрева. При этом для оптимизации технологических режимов необходима информация о скорости распространения тепла и значениях температурного поля. В большом количестве случаев такую информацию можно получить только с помощью численного моделирования [5-7].

Моделирование нагрева металлов позволяет прогнозировать, анализировать и оптимизировать процессы, связанные с эволюцией теплового поля. Основными причинами для моделирования являются:

1. Оптимизация технологических процессов. При термообработке информация о распределении температурно-

го поля позволяет подобрать оптимальные режимы нагрева и охлаждения для достижения необходимых результатов.

2. Исследование поведения металла при высоких температурах. Моделирование помогает получить информацию о том, как металл меняет свои свойства при нагревании (прочность, пластичность, теплопроводность).

3. Анализ деформаций. Моделирование позволяет получать информацию о деформации металлических изделий при нагревании.

4. Экономическая эффективность. Моделирование позволяет провести виртуальные испытания и сократить количество физических испытаний, что снижает затраты на разработку и производство продукции.

Распределение тепла в металле в подавляющем большинстве случаев описывается нелинейными уравнениями, которые трудно решить аналитическими методами. Специальные программы используют численные методы для решения этих уравнений и получения приближённых решений.

В данной работе представлено численное моделирование индукционного нагрева для получения структуры ДФМС.

Математическая модель индукционного нагрева

Рассмотрим построение математической модели нагрева заготовки длиной Z = 100 мм радиусом R = 20 мм, изготовленной из стали 20Г2Р. Теплофизические коэффициенты сплава: удельная плотность $\rho = 7000$ кг·м$^{-3}$; удельная теплопроводность $\lambda = 45$ Вт·м$^{-1}$·град$^{-1}$; удельная теплоемкость $C = 460$ Дж·кг$^{-1}$·К$^{-1}$.

Уравнение теплопроводности в классической форме тепловой диффузии имеет вид:

$$\rho C \frac{dT}{dt} + \mathrm{div}(-\lambda \mathrm{grad}\, T) - q = 0 \quad (1)$$

где T – температура, град; t – время, с; q – мощность внутреннего объемного источник тепла, Вт·м$^{-3}$.

В цилиндрической системе координат уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C\rho}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (2)$$

с учетом осевой симметрии:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C\rho}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right). \quad (3)$$

С начальным условием:

$T(t,r,z)\big|_{t=0} = T_0$, при $0 \le r \le R$ и $0 \le z \le Z$, где T_0 – температура во внутренней области в начале моделирования, T_0=20 ºС.

В качестве граничных условий принимались граничные условия первого рода - температура на поверхности цилиндра Tg=750 ºС .

$T(t,r,z)\big|_{z=0} = T_g$, при $0 \le r \le R$; где R– радиус прутка;
$T(t,r,z)\big|_{z=Z} = T_g$, при $0 \le z \le Z$; где Z– длина прутка;
$T(t,r,z)\big|_{r=R} = T_g$,условие Дирихле. (4)

Решение уравнения теплопроводности (3) осуществлялось

методом конечных разностей в расчетной области:

$$\Omega := \left\{ (r,z) \middle| r_{\min} \le r \le r_{\max},\ z_{\min} \le z \le z_{\max} \right\}, \quad (5)$$

Применён метод конечных разностей с явной двухслойной схемой. Дискретизация расчётной области показана на рисунке 1; пространственные шаги по осям r и z приняты равными: h = Δr = Δz (м).

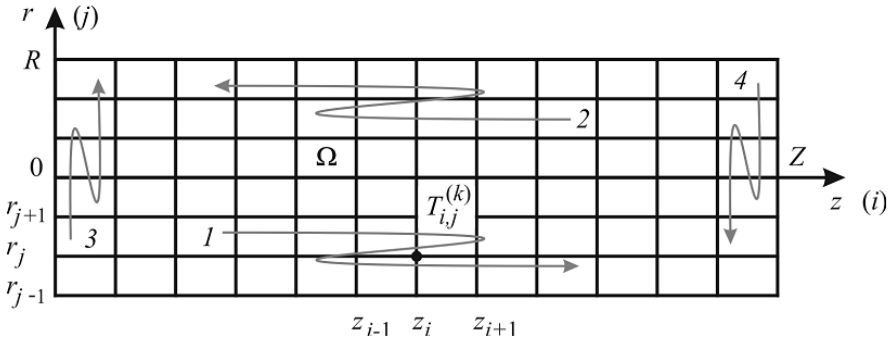


Рис.1. Дискретизация расчетной области для решения уравнения теплопроводности

Численные расчёты проводились на временном интервале, при котором распределение температуры устанавливалось однородным на 99,5 % во всей внутренней области заготовки. При приведённых теплофизических коэффициентах и геометрических размерах прогрев при температуре на границе T_g = 750 °C осуществлялся за 16 секунд. Результаты моделирования приведены на рисунках 2–8.

Результаты моделирования и их анализ

На рисунке 2 представлено двумерное распределение температуры в расчётной области при времени нагрева t = 5 с. Видно, что тепловой фронт распространяется от наружной поверхности к оси заготовки: приповерхностный слой прогрет до температур, близких к граничному значению Tg = 750 °C, тогда как осевая зона остаётся существенно более холодной. Форма изотермических поверхностей повторяет геометрию границы, что указывает на преобладающий вклад радиального теплового потока.

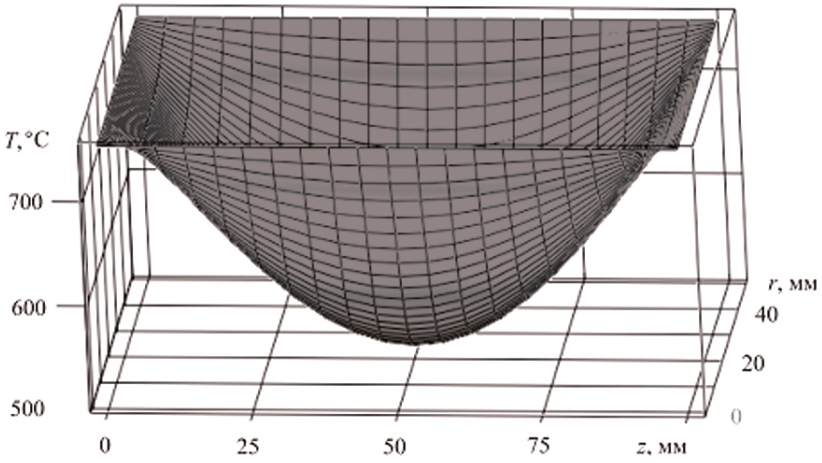


Рис.2. Распределение температуры, время нагрева 5 с

На рисунке 3 для того же момента времени показаны изотермы температурного поля: их сгущение у боковой поверхности и у торцов свидетельствует о высоких локальных градиентах температуры, тогда как в центральной области изотермы расположены реже — поле здесь более однородно. Наибольшая плотность изотерм наблюдается на участках сопряжения поверхностей (рёбрах), что необходимо учитывать при выборе режимов нагрева.

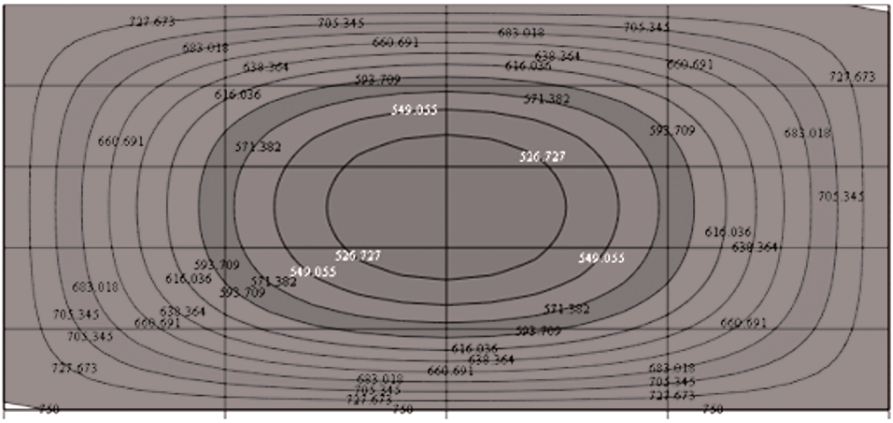


Рис.3. Изотермы температурного поля, время нагрева 5 с

На рисунке 4 (а–в) приведено распределение скалярного значения градиента температуры по оси симметрии z и по радиальной оси r в моменты времени 1, 10 и 15 с:

• при t = 1 с (а) градиент сосредоточен в тонком приповерхностном слое;

• к t = 10 с (б) фронт градиента смещается вглубь заготовки, а его абсолютное значение уменьшается;

• при t = 15 с (в) градиент близок к нулю во всей расчётной области, что свидетельствует о выравнивании температурного поля.

Сравнение кривых по осям z и r показывает, что при принятой геометрии (R = 20 мм <Z = 100 мм) градиент по более короткой оси r выше, следовательно, наибольшие термические напряжения возникают именно по этой оси.

Моделирование показало неравномерный характер распространения тепла во внутренней области:

• в начале нагрева скорость распространения тепла имеет максимальное значение и уменьшается по мере роста тем-

пературы во внутренней области;
• наиболее быстрое изменение температуры происходит на участках сопряжённых поверхностей (рёбер);
• наибольшее напряжение в металле при принятой геометрии заготовки возникает по более короткой оси r.

Практическая значимость: разработанная модель позволяет оптимизировать режимы индукционной установки, обеспечивая равномерный прогрев при минимизации термических напряжений.

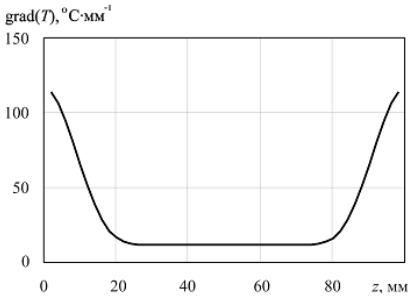
Проведённое комплексное исследование позволяет сформулировать следующие положения:

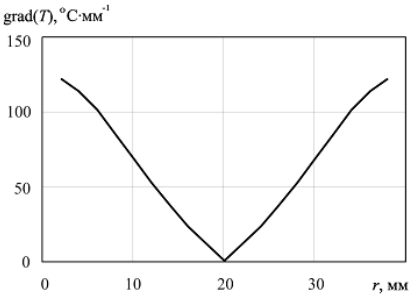
Во-первых, разработанная математическая модель индукционного нагрева обеспечивает получение информации о распределении теплового поля в любой точке расчётной области с погрешностью, не превышающей $O(\Delta t + h^2)$, что является удовлетворительным для выбора технологических режимов неполной закалки из МКИ. Прогрев заготовки из стали 20Г2Р до температуры 750 °С при заданных геометрических параметрах осуществляется за 16 с. Модель позволяет оптимизировать режимы индукционной установки, обеспечивая равномерный прогрев при минимизации термических напряжений.

Во-вторых, анализ температурных полей показал, что приповерхностные участки прогреваются быстрее внутренней области, а кривая нагрева центральной точки имеет максимум скорости в интервале 0–4 с. Это позволяет рекомендовать ступенчатые режимы нагрева: интенсивный начальный нагрев с последующей выдержкой для выравнивания температурного поля, что снижает риск перегрева поверхности и образования трещин.

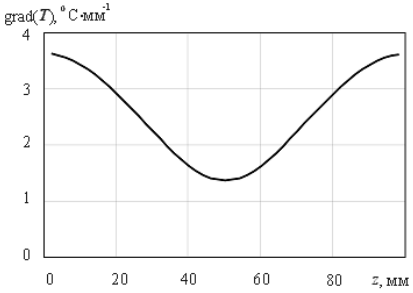
В-третьих, анализ градиента температуры показал, что наибольшие термические напряжения возникают в приповерхностных слоях, на участках сопряжённых поверхно-

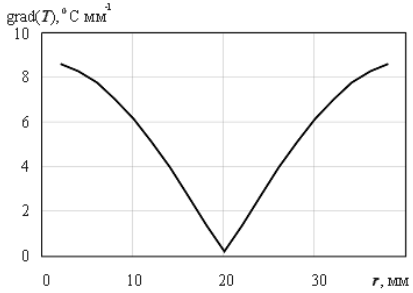
стей (рёбрах) и по более короткой радиальной оси r. Это необходимо учитывать при проектировании режимов нагрева и охлаждения, а также при выборе геометрии заготовки.



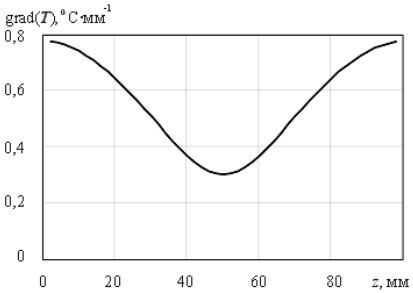


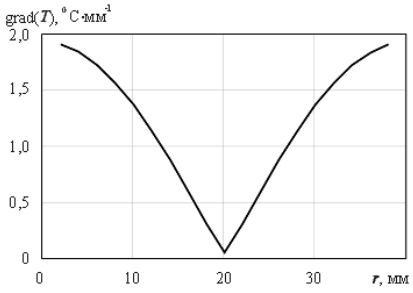
а





б





в

Рис.4. Распределение скалярного значения градиента температуры по оси симметрии zu на оси в сечении, проходящим через центральную точку по r: а – 1с; б – 10 с; в – 15 с

Список литературы

1. *Лавриненко В.Ю., Посалина А.Е. Исследование влияния предварительной термической обработки на получение двухфазной феррито-мартенситной структуры сталей 20 и 20Г2Р // Новые технологии в учебном процессе и производстве: матер. XX Междунар. науч.-техн. конф., посв. 165-летию со дня рождения К.Э. Циолковского: сб. тез. — Рязань, 2022. — С. 111–115.*
2. *Лавриненко В.Ю., Лавриненко Ю.А., Посалина А.Е. Экспериментальные исследования влияния предварительной подготовки на механические свойства двухфазных феррито-мартенситных сталей для изготовления высокопрочных крепёжных изделий // Заготовительные производства в машиностроении. — 2023. — Т. 21, № 1. — С. 23–27.*
3. *Посалина А.Е., Лавриненко В.Ю. Исследование свойств двухфазных феррито-мартенситных сталей 20 и 20Г2Р для изготовления высокопрочных крепёжных изделий // XII Всерос. конф. молодых специалистов по перспективам развития металлургических технологий, посв. 115-й годовщине со дня рождения А.П. Гуляева: сб. тез. докл. — Москва: ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, 2023. — С. 57–59.*
4. *Лавриненко В.Ю., Посалина А.Е. Холодная объёмная штамповка крепёжных изделий из сталей с двухфазной феррито-мартенситной структурой // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. — 2022. — № 4. — С. 45–58.*

5. Юдаев Ю.А., Кирьяков О.В., Официн С.И. Моделирование тепловых процессов в размыкателях тока В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Сборник тезисов 22 Международной научно-технической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А. Гагарина . Рязань, 2024. С. 484-485.

6. Юдаев Ю.А., Кожанова Т.В., Юдаев М.Ю. Моделирование нагрева электрода в разряде/ В сборнике: Сеточные методы для краевых задач и приложения. Материалы Десятой Международной конференции. 2014. С. 678-682.

7. Моделирование процесса эрозии электродов в защитных разрядниках Анисимов В.Ф., Юдаев Ю.А., Бельский Д.П., Звягинцев С.И., Юдаев М.Ю./В сборнике: Современные проблемы физики плазмы. Материалы Всероссийской конференции. Дагестанский государственный университет. 2013. С. 164-167.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ И ДРУГИХ МЕТИЗОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕМОНТА ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Осадчий Д.К. – директор по развитию предприятия, ООО «УК «Кузбасстрансмет», г. Новокузнецк

Компания ООО «УК « Кузбасстрансмет» работает на российском рынке более 30 лет, с 1994 года. Географически компания расположена в городе Новокузнецке (Кемеровская область — Кузбасс).

Основная деятельность компании – изготовление элементов верхнего строения пути и других метизов, осуществление различных видов ремонтов подъездных путей промышленных предприятий.

С 2025 года компания ООО «УК « Кузбасстрансмет» производит метизы для нефтегазовой, энергетической и строительной отраслей.

При изготовлении метизов в ООО «УК «Кузбасстрансмет» используются различные методы обработки металлов давлением:

- горячая объемная штамповка;
- холодная штамповка;
- горячая поперечно-клиновая прокатка;
- накатка резьбы и др.

Для изготовления метизов используется следующее оборудование:

- кривошипные прессы;
- гидравлические прессы;
- линии поперечно-клиновой прокатки (ПКП);
- резьбонарезные станки;

- резьбонакатные станки и др.



Рис.1. Путевой шуруп ЦП 54

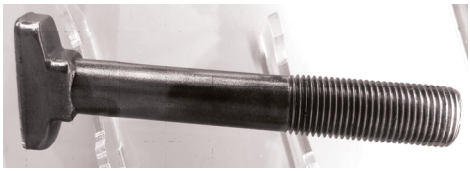


Рис.2. Закладной болт М22х175



Рис.3. Клеммный болт М22х75

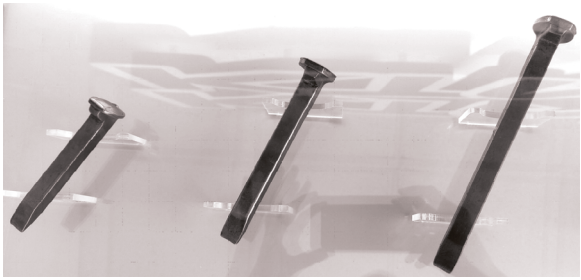


Рис.4. Костыль железнодорожный

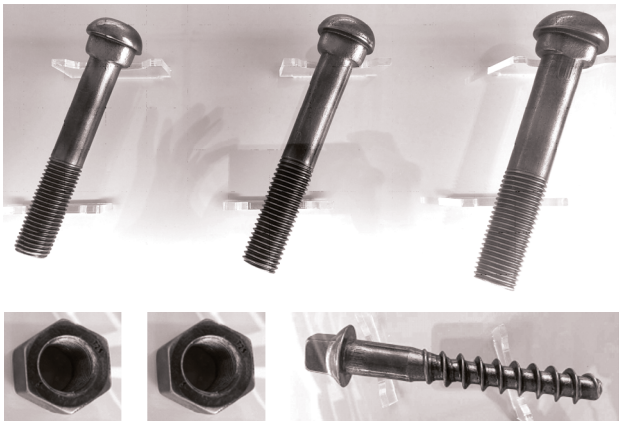
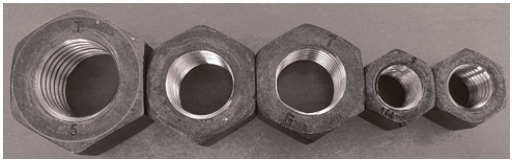


Рис.5. Метизная продукция



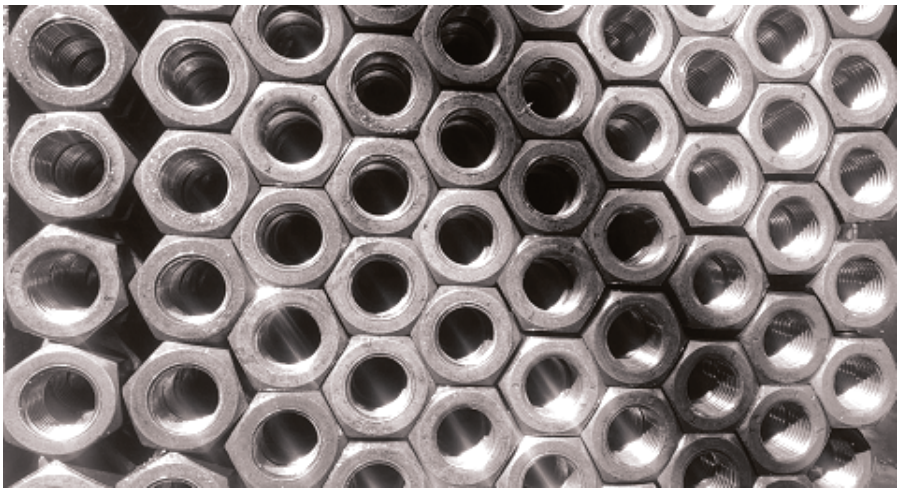


Рис.6. Гайки различных размеров



Рис.7. Болты

Для увеличения производительности оборудования в 2019 году были разработаны мероприятия по сокращению цикла изготовления метизов:

- облегчение физического труда;
- оптимизация рабочего места;
- снижение расстояния рабочего органа;
- модернизация штампов (на кривошипном прессе) и др.

Первый этап реализации проекта включает в себя следующие стадии:

- модернизация шкафов управления оборудования;
- автоматическое нанесение СОЖ при штамповке;
- автоматический подсчет изготовленной продукции;
- удаление заготовки из матрицы (после ее обработки);
- загрузка готовой продукции в биг-бэг.

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса при штамповке головки путевого шурупа ЦП 54 (далее по тексту шуруп) на кривошипном прессе была произведена модернизация штампа (рис. 8). Были внедрены следующие мероприятия – автоматическое нанесение смазки на штамповую оснастку (смазывающая охлаждающая жидкость – СОЖ) и

удаление заготовки из штампа.

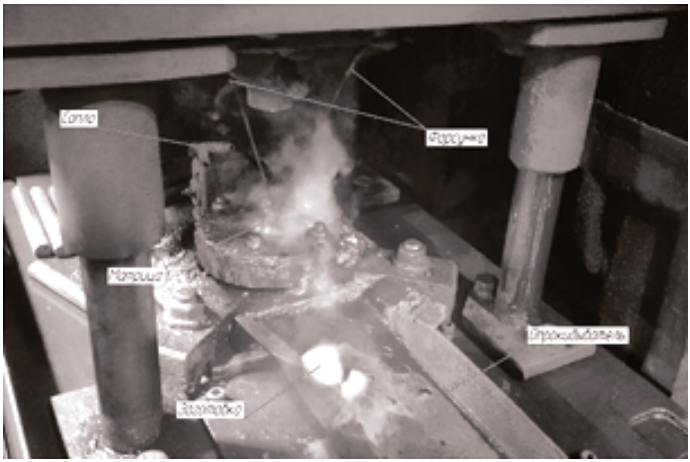


Рис.8. Модернизированный штамп

В штампе имеются несколько форсунок для подачи СОЖ. После каждого удара, происходит автоматическое нанесение СОЖ на штамповую оснастку. Происходит охлаждение и смазывание штамповой оснастки (матрицы, выталкивателя, втулки и т.д.). Объем подачи СОЖ и время нанесения можно регулировать.

Также в штампе расположено сопло для подачи сжатого воздуха, которое участвует в удалении заготовки из штампа. После удара, когда ползун находится в крайнем верхнем положении, происходит выталкивание заготовки из матрицы и подача сжатого воздуха, через сопло. Далее заготовка опрокидывается и попадает на опрокидыватель. При следующем ударе кривошипного пресса происходит сбрасывание заготовки в тару, с помощью пневматического цилиндра.

Для выполнения вышеописанных мероприятий была

проведена модернизация шкафов управления (рис.9). Модернизированные шкафы управления позволили объединить несколько рабочих систем и создать обрабатывающие комплексы.



Рис.9. Модернизация шкафов управления оборудования (объединенный обрабатывающий комплекс)

Например, рассмотрим штамповочный комплекс, который включает несколько рабочих систем:
- кривошипный пресс (задача – штамповка заготовки);
- система охлаждения (задача – охлаждение и смазывания штамповой оснастки);

- гидравлическая система (задача – удаление заготовки после штамповки из матрицы);
- система удаления заготовки (задача – удаление заготовки из штампа в тару);
- система учета (задача – учет обработанной заготовки);
- система управления комплексом (задача – управления системами и передача и информации на сервер компании).

Штамповочный комплекс используется для штамповки следующих видов продукции:
- шуруп путевой ЦП 54;
- шуруп путевой;
- клеммный болт;
- закладной болт;
- костыли для железных дорог;
- гайки для стыковых и клеммных болтов;
- винты и т.д.



Рис.10. Шкаф управления штамповочного комплекса

На шкафу управления штамповочного комплекса расположены монитор, на котором можно наблюдать следующую информацию (рис.10):

- дата и время (21.08.2025, 13:01);
- количество отработанных заготовок (2866 штук);
- режим работы (одиночный ход);
- параметры других систем (гидравлическая система; муфта-тормоз и т.д.).

Вся информация по каждому оборудованию и по каждой смене передается на сервер предприятия и хранится там.

Итоги после внедрения мероприятий:

- сокращение физических затрат при работе (≈ 20%);
- увеличение производительности (с 5500 штук в смену до 9000 штук в смену);
- уменьшение травматизма;
- уменьшения возникновения брака (до 0,3%).

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса, при накатке резьбы (на шурупе), была разработана и внедрена система удаления и равномерного распределения готовой продукции в таре (рис.11, рис.12, рис.13). После накатки резьбы готовая продукция попадает на заслонку склиза и далее сталкивается в тару (с помощью пневматического цилиндра). Это позволяет оператору линии поперечно - клиновой прокатки (далее ПКП) не отвлекаться на распределения заготовки в таре.

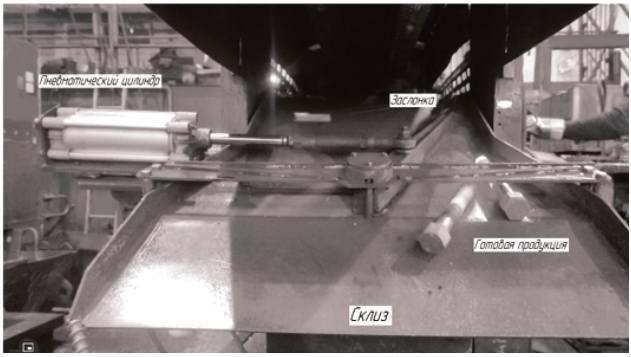


Рис.11. Линия поперечно - клиновой прокатки



Рис.12. Удаление и распределение заготовки из линии поперечно - клиновой прокатки

Итоги после внедрения мероприятия:

- сокращение физических затрат при работе (≈5%);
- увеличение производительности;
- уменьшение травматизма.

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса, при загрузке готовой продукции в биг-бэги было разработано устройство.



Рис.13. Загрузка готовой продукции в биг-бэги

После прохождения контроля качества продукция (в таре) перемещается на раму (рис. 13). На раме расположен пустой биг-бэг, в который загружают готовую продукцию (1000 кг.), с помощью подъемного крана.

Ранее данная процедура занимала много времени, и на ней было задействовано два человека (процедура осуществлялась с помощью магнита и подъемного крана). В настоящий момент задействован один человек для заполнения биг-бэга готовой продукцией, и время выполнения операции уменьшилось в несколько раз.

Итоги после внедрения мероприятия:

- сокращение физических затрат при работе;
- увеличение производительности (в 2-3 раза).

Результаты первого этапа реализации проекта:

- сокращение физических затрат при производстве;
- увеличение производительности на кривошипном прессе (с 5500 штук в смену до 9000 штук в смену);
- увеличилась производительность на линии ПКП (с 8 до 12 штук в минуту);
- сокращение времени загрузки готовой продукции в биг-бэ-ги в 2-3 раза;
- повышение качества выпускаемой продукции (доля брака до 0,3%);
- снижение возникновения несчастных случаев;
- уменьшение вероятности возникновения ошибки при под-счете изготовленной продукции (п/ф).

Второй этап реализации проекта включает в себя следующие стадии:

- штамповка заготовок без нажатия кнопок;
- механическая загрузка заготовок в линию ПКП;
- механическая загрузка заготовок в кривошипный пресс;
- перевод штамповщиков в операторов линии.

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса при штам-повке головки шурупа было разработан и внедрен режим штамповки без стойки управления (рис.14). Данный режим позволяет осуществлять процесс штамповки автоматически после того, как оператор загрузил заготовку в матрицу (без нажатия кнопок). На кривошипном прессе установлены дат-чики, которые определяют наличие горячей заготовки в ма-трице. После определения нахождения заготовки подается сигнал и происходит процесс штамповки. Между загрузкой

заготовки и ударом существует задержка, которая позволяет оператору безопасно совершать свою работу. Производительность зависит от самого оператора. Если заготовка отсутствует в матрице (или она не нагрета), то штамповка не производится. Данная разработка находится на испытании, пока выводы делать рано, но можно уверенно сказать, что данный режим повышает производительность процесса, ведь перед оператором остается всего одна задача – загрузка нагретой заготовки в матрицу, все остальное осуществляет штамповочный комплекс автоматически.



Рис.14. Штамповка шурупа без использования панели систем управления

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса при накатке резьбы в линии ПКП была разработана линия механической загрузки заготовки (рис. 15).

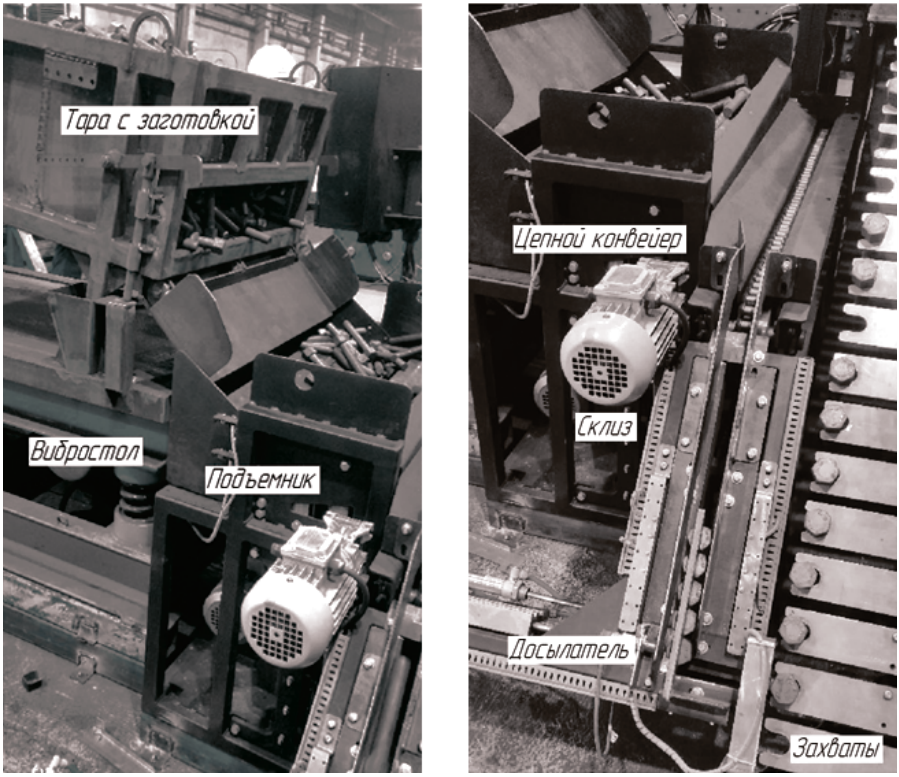


Рис.15. Линия механической загрузки заготовок ПКП

На вибрационный стол устанавливается тара с заготовкой. Под действием вибраций (регулируется количество колебаний) заготовка попадает в подъемник. Подъемник поднимает заготовки вверх и перемещает их на цепной конвейер. Далее заготовки перемещаются вниз, по склизу. После это досылатель перемещает заготовки в захваты (рис.16).

Далее заготовки по цепному конвейеру поднимаются вверх и попадают в щелевой индуктор, где происходит их нагрев. После выхода заготовки из щелевого индуктора про-

исходит измерение ее температуры. Если заготовка имеет температуру ниже требуемой, то происходит ее сброс. Если заготовка нагрета до требуемой температуры, то она попадает на цепной конвейер и перемещается в загрузочный лоток линии ПКП (рис. 16).

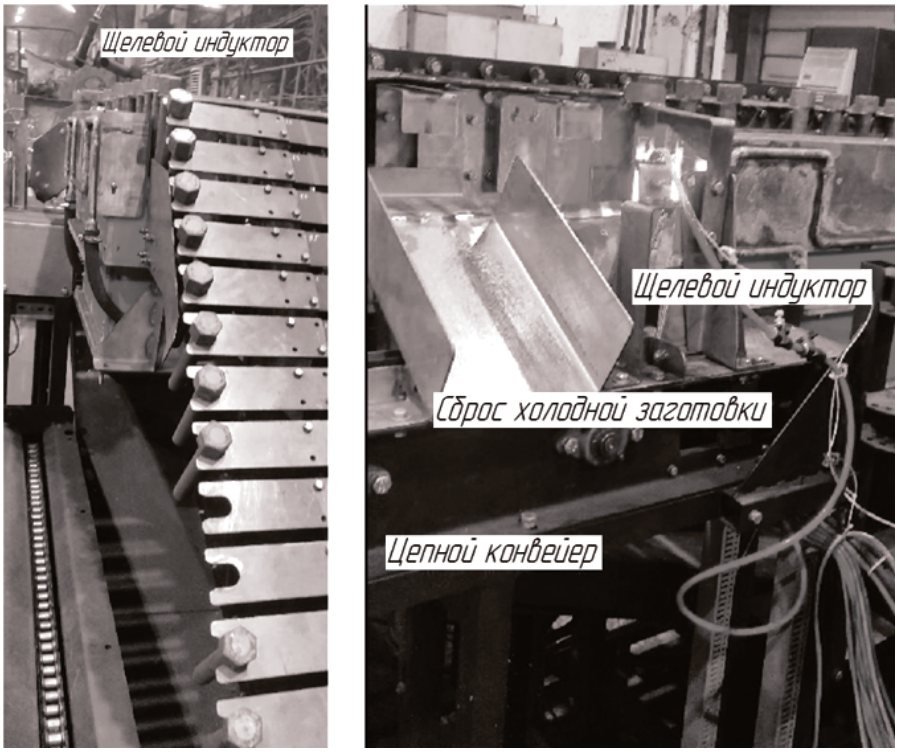


Рис.16. Механическая загрузка заготовки в линию ПКП

Далее заготовки по цепному конвейеру поднимаются вверх и попадают в щелевой индуктор, где происходит их нагрев. После выхода заготовки из щелевого индуктора происходит измерение ее температуры. Если заготовка имеет

температуру ниже требуемой, то происходит ее сброс. Если заготовка нагрета до требуемой температуры, то она попадает на цепной конвейер и перемещается в загрузочный лоток линии ПКП (рис. 16).

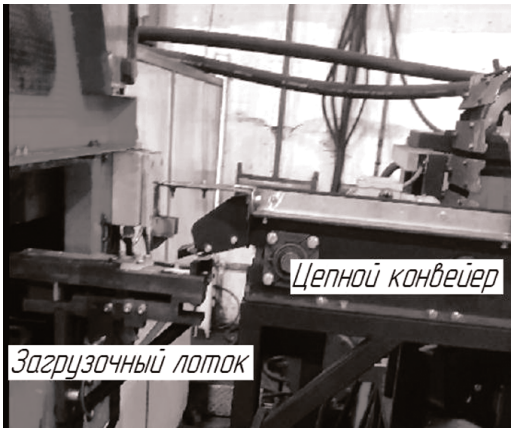


Рис.17. Цепной конвейер. Загрузочный лоток

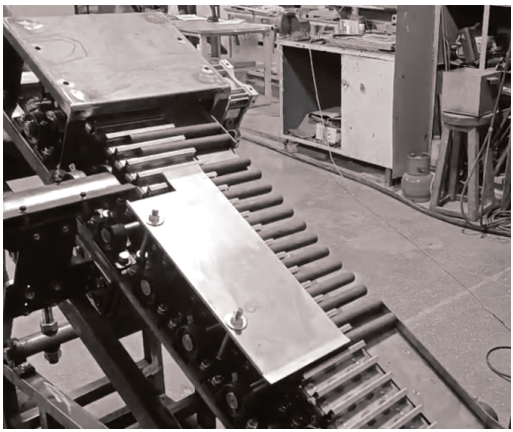


Рис.18. Механическая загрузка заготовки в кривошипный пресс

Для облегчения физического труда и увеличения производительности технологического процесса при штамповке разработана линия механической загрузки заготовки в кривошипный пресс.

Принцип работы линии такой же, как и в линии механической загрузки заготовки в линию ПКП. На вибрационный стол устанавливается тара с заготовкой. Далее под действием вибраций заготовка попадает в подъемник, который поднимает их вверх и перемещает на цепной конвейер. После этого заготовки перемещаются на другой цепной конвейер и попадают в щелевой индуктор (для нагрева). Далее после выхода нагретой заготовки из щелевого индуктора происходит измерение ее температуры. Если температура ниже требуемой, то происходит ее сброс. Если температура достигает требуемого значения, то она попадает в захват и перехватывается захватом манипулятора. Далее манипулятор перемещает заготовку в матрицу и происходит процесс штамповки. После штамповки манипулятор удаляет заготовку из штампа.

В настоящий момент происходит монтаж данного оборудования к кривошипному прессу.

Итоги после внедрения мероприятия:

- снижение физических затрат;
- увеличение производительности (от 16 штук в минуту);
- уменьшение травматизма;
- уменьшения возникновения брака (до 0,3%).

Ожидаемые результаты второго этапа реализации проекта:

- снижение физических затрат при штамповке;
- увеличение производительности при штамповке (произво-

дительность – от 16 штук в минуту);
- увеличение производительности при накатке резьбы (производительность – от 12 штук в минуту);
- снижение травматизма;
- уменьшение возникновения брака (до 0,2%);
- перевод штамповщик в операторов линий.

Третий этап реализации проекта включает в себя следующие стадии:

- допуск и идентификация лиц, работающих на оборудовании (ОТ и ПБ, сбор и передача данных, дата, ФИО руководителя, простои, время работы и др.);
- «фотография рабочего дня» в режиме «on-line» (разработчик АСУП ООО «УК «Кузбасстрансмет»);
- внутренний электронный документооборот предприятия (выдача задания, отчет по выполнению задания, учет расхода материала по участкам, наличие конструкторской документации; заявки на обеспечение производственной деятельности, ремонт, учет рабочего времени, учет отгрузки готовой продукции и др.)



Рис.19. «Фотография рабочего дня»

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ, ПОЛЫХ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ СЛИТКОВ И ПРОКАТАННЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК НА УЧАСТКАХ СВОБОДНОЙ КОВКИ

Хориков С.М.–главный металлург,
ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань

Для некоторых изделий, изготавливаемых ограниченными партиями, не целесообразно создавать специализированное производство. Заготовки должны иметь разные размеры сечения, радиуса переходов и галтелей. Необходимые технические характеристики высоки и разнообразны, контроль материала, сборочных единиц и всего изделия регламентируется большим количеством стандартов. Такие изделия используются в сложных аппаратах, как правило, работающих под давлением или в особых условиях.

Нами разработаны технологии для получения конструкторских и технологических параметров с использованием специальной оснастки на универсальном оборудовании. Для многих заготовок используются прокатанные трубы, доступные к приобретению. При необходимости, в покупных трубных заготовках можем изменить сечение или профиль, частично или целиком.

В производстве трубных заготовок металлургического производства ПАО «Тяжпрессмаш» задействуются два литейных цеха, кузнечный,термический цехи, участок с радиальноковочной машиной, а также металлообрабатывающее оборудование механических цехов.

В литейном цехе № 2 установлены: дуговая печь постоянного тока с двумя сводовыми электродами ДППТУ-20

объёмом ванны 20 тонн. Печь постоянного тока ДППТ-6 объемом ванны 6 тонн. Установлена разработанная и изготовленная на нашем предприятии машина для центробежного литья РМЦ1000.



Рис.1. Дуговая печь постоянного тока ДППТУ-20



Рис.2. Печь постоянного тока ДППТ-6

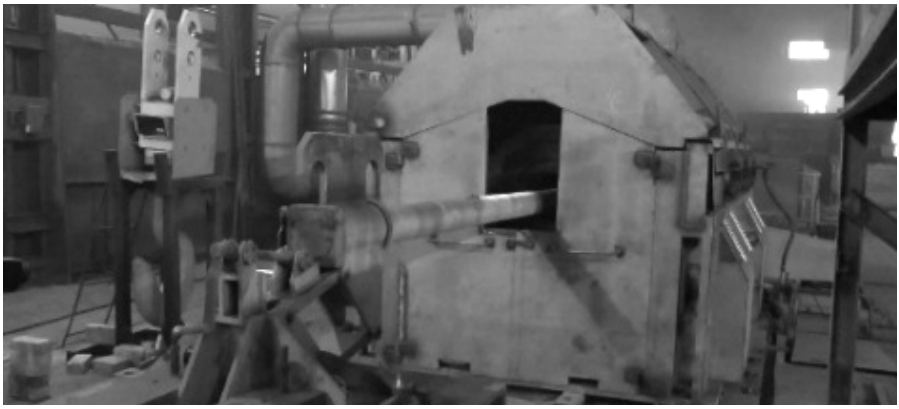


Рис.3. Машина для центробежного литья РМЦ1000

В кузнечном цехе № 6 основным оборудованием являются ковочные прессы ПА-1343 и П-156 усилием 2500 тонн, паровоздушный молот весом падающих частей 3,15 тонн, молот с гидравлическим приводом весом падающих частей 2 тонны и два пневматических приводных молота.

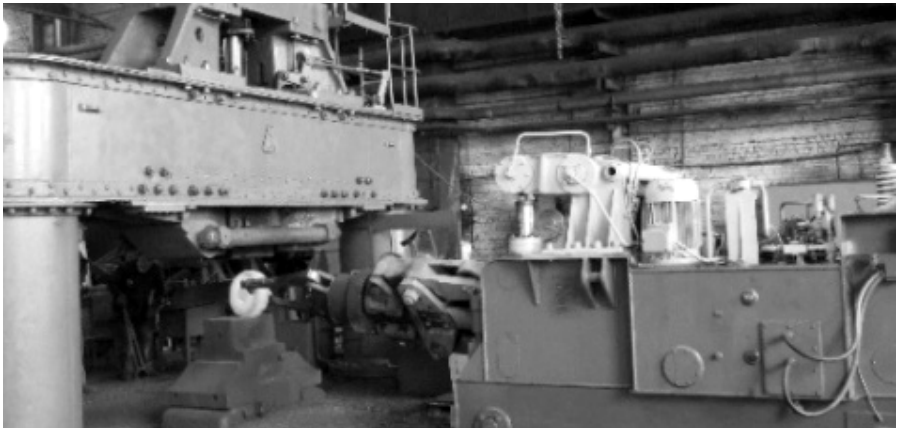


Рис.4. Паровоздушный молот весом падающих частей 3,15 т



Рис.5. Ковочный пресс ПА-1343

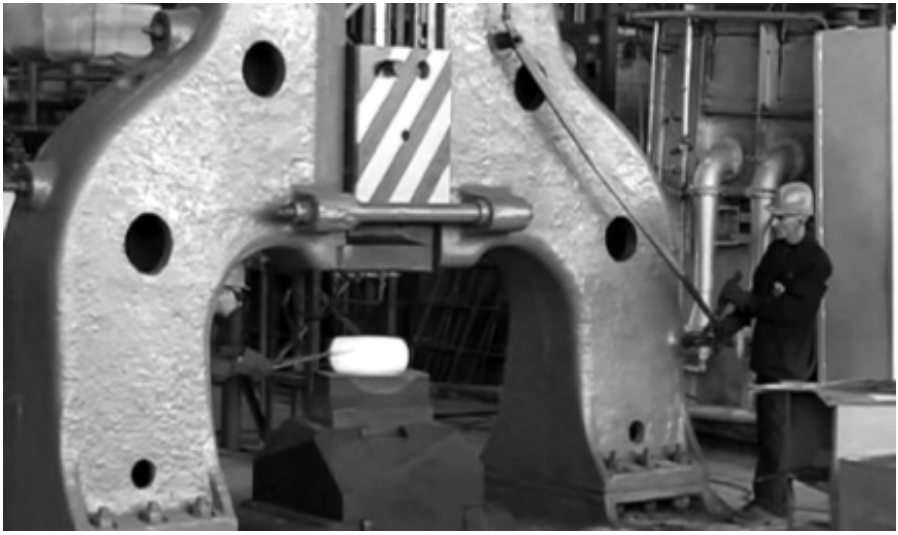


Рис.6. Молот с гидравлическим приводом весом падающих частей 2 т

Нагревательные и термические печи разной конструкции и назначения

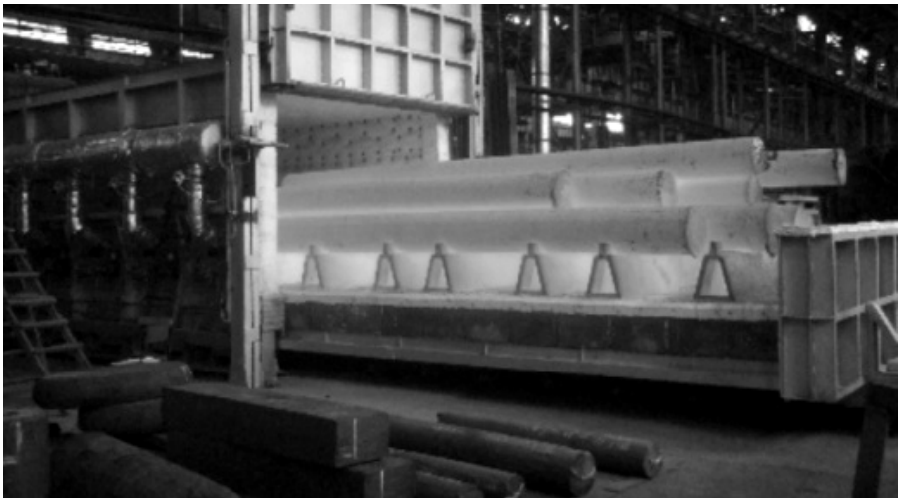


Рис.7. Термическая печь



Рис.8. Нагревательная печь

Нами разработана технология ковки коротких труб диаметром до1000мм и ковка труб длиной более 7 метров диаметром до 600мм. В качестве заготовки, в этом случае, наиболее рационально использование центробежнолитой отливки. При этом она подаётся в кузнечный цех в термосе при температуре до 800˚С. Нагревается и сразу выносится на конечные операции ковки. В отход идёт только угар. Причём качество металла, благодаря особенностям центробежного литья, сопоставимо с электрошлаковым и вакуумнодуговым переплавами. Ликвационные дефекты металла остаются в припуске на внутренний диаметр и удаляются при дальнейшей механической обработке. Операции ковки выполняются на ковочном комплексе.



Рис.9. Ковочный комплекс с двумя манипуляторами

В состав комплекса входит ковочный пресс, на котором установлено четырёхбойковое ковочное устройство (с работой можно ознакомиться в материалах по нему) и два манипулятора, грузоподъёмностью 20 и 10 тонн. Предварительное формообразование проводится на стандартной оправке. Далее ковка производится в такой последовательности: Один манипулятор удерживает специальную, сменную, водоохлаждаемую оправку. Оправка имеет небольшую длину, перекрывающую только зону деформации под бойками ковочного блока, диаметр её определяет внутренний размер поковки. Штанга, на которой крепится оправка, имеет размер, позволяющий ковать трубы длиной до 8 метров. Второй манипулятор удерживает заготовку и передвигает её по оправке в соответствии с необходимой последовательностью обжатий.

Ковка производится с разворотом. Сначала протягивается небольшой участок с одной стороны, длиной немного большей захватной части клещей манипулятора, чтобы не застудить клещами часть заготовки, удерживаемую в манипуляторе в первый момент. Затем производится разворот заготовки. Она заводится на оправку до обжатой зоны и протягивается в окончательный размер. Для этого выноса диаметр заготовки расковывается на 10% больше операционного диаметра, с учётом температурной усадки. Размер оправки выбирается необходимого диаметра. Далее оправка извлекается из поковки и производится обжим без неё. Эта операция позволяет при необходимости провести промежуточный подогрев заготовки без угрозы перегрева структуры откованной части, а также выдавить с внутренней поверхности остатки шлака и окалины, которые могут затруднить последующую механическую обработку заготовки, откалибровать наружный диаметр и уменьшить необходимый припуск до минимума. Для получения толщины

стенки менее 100 мм (до 50 мм), количество операций соответственно увеличивается.

Далее поковка проходит нужную термообработку, в зависимости от технических требований к изделию. Нормализация проводится в термических печах кузнечного цеха и термического цеха. Улучшение в основном выполняется в модернизированной газовой печи термического цеха, в которой установлены рекуперационные горелки. Это позволило проводить термообработку с очень узким диапазоном нагрева.

В механических цехах и участках проводится проточка, при этом удаляются дефекты поверхности и вырезаются необходимые образцы для исследований.

Покупные заготовки и заготовки собственного изготовления после порезки и соответствующей механической обработки или сварки, обжимаются или профилируются в необходимые размеры.

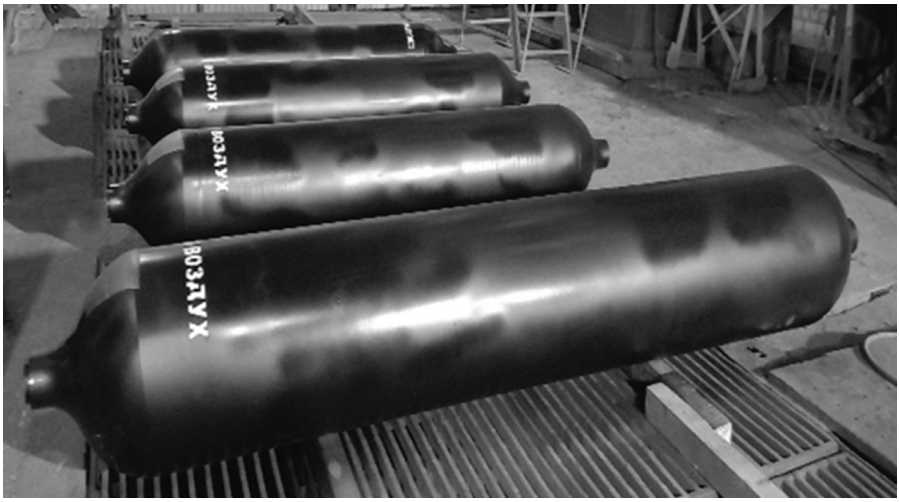


Рис.10. Сосуды высокого давления

Недавно были проведены работы по изготовлению сосудов высокого давления из нового материала. Заготовки, проточенные, в расчетный размер были обжаты в соответствии с заданным профилем, термообработаны, собраны и успешно испытаны.

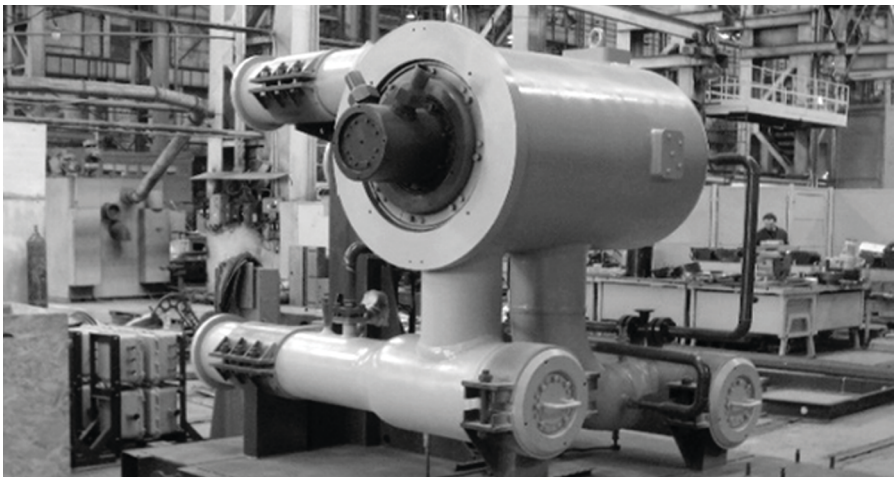


Рис.11. Турбодетандер

Для изготовления турбодетандеров необходимо изготавливать трубные заготовки переменного и профилированного сечения, используемые в сварных устройствах, работающих под давлением. Есть положительный опыт получения восьмигранного профиля из листовой заготовки.

Исследования центральной заводской лаборатории подтверждают необходимые технологические параметры материала полученной трубы.

Результаты показывают получение повышенных характеристик изделий.

Наработанный опыт изготовления полых изделий будет использоваться в дальнейшем производстве.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОЩНОСТИ ПАО «ТЯЖПРЕССМАШ»

Новиков Д.В. – главный технолог,
ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань

ПАО «Тяжпрессмаш» - предприятие с более чем полувековой историей, хорошо известное как в России, так и за рубежом.

Начиная свою деятельность на базе Завода тяжелого кузнечно-прессового оборудования (ТКПО) в этом направлении (проектирование, изготовление, капитальный ремонт и модернизация), а также благодаря постоянному техническому перевооружению, предприятие ведет поиск и развитие в других направлениях производства, таких как: автомобильная, авиационная, железнодорожная, атомная промышленность, военно-промышленный комплекс, продукция для водоканала, производство нефтегазового оборудования.

Завод обладает огромным научно-техническим потенциалом, солидной производственно-технической базой, оснащен современным и уникальным оборудованием, позволяющим выполнять полный цикл производства, от генерации конструкторских и технологических идей до их воплощения в готовую продукцию.

Наличие современного программного обеспечения для моделирования и проектирования оптимальных технологических процессов, наличие собственного инструментального производства позволяет расширить технологические возможности изготовления сложной высококачественной продукции.

На сегодняшний день производственные мощности

состоят из тесно взаимодействующих между собой технологических производств, таких как: металлургическое, термическое, сварочное, заготовительное производство, механосборочное производство, производство лакокрасочных (ЛКП) и гальванических покрытий, производство резинотехнических изделий и пластмасс.

Механосборочное производство

Механические цехи оснащены уникальным технологическим оборудованием – в общей сложности 876 единиц. Развивается на заводе также новое направление – аддитивные технологии. На 3D-принтерах изготавливается оснастка для литейного производства. Лазерные 3D-сканеры используются для получения 3D-моделей готовых деталей. С помощью таких моделей значительно упрощается разработка конструкторской документации и производство новых изделий.

Парк крупного расточного оборудования, в том числе фирмы «Шкода»; станков многоцелевого назначения, таких как продольно-фрезерный станок фирмы «Лине», карусельно-фрезерно-расточно-шлифовальный станок фирмы «Бертье», позволяют с высокой точностью обрабатывать корпусные и базовые детали весом до 125 т и габаритами 3000х3000х12000 мм.



Рис.1 Продольно-фрезерный станок фирмы «LINE»



Рис.2 Карусельно-фрезерно-расточно-шлифовальный станок фирмы «BERTHIEZ»

Специальные станки для обработки тяжелых коленчатых валов позволяют обрабатывать валы с одной, двумя и тремя мотылевыми шейками.

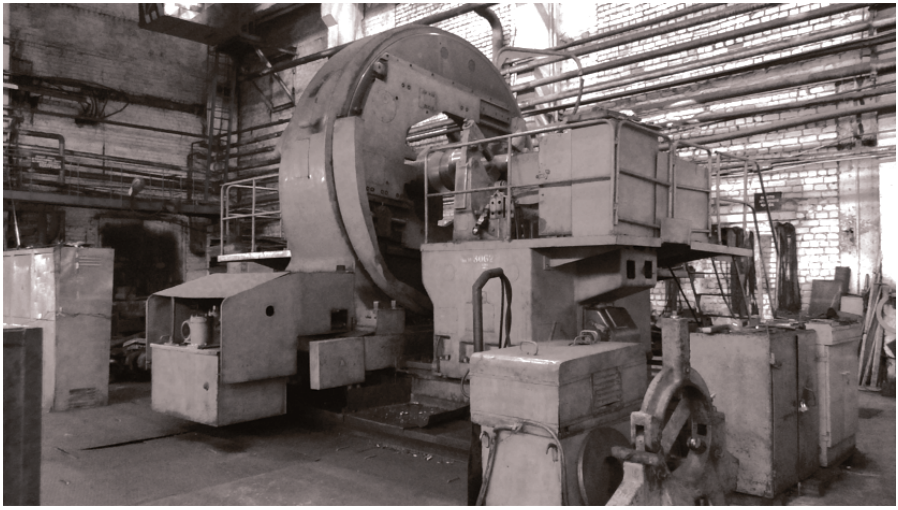


Рис.3 Станок для обработки тяжелых коленчатых валов

Зуборезное и зубошлифовальное оборудования фирмы «Хофлер» дает возможность изготавливать следующие детали:

– цилиндрические зубчатые колеса: по 7-й степени точности с модулем 32 – диаметр до 3200 мм, шлифовка зуба – диаметром до 2500 мм

– конические зубчатые колеса: с прямым зубом модулем 30; диаметром – 1600 мм; с круглым зубом (включая шлифовку) модулем 16 – диаметром до 800 мм.

На токарно-карусельных станках обрабатываются детали диаметром до 6300 мм, высотой – 3200 мм.

На токарных станках возможно изготовление колонн и валов – диаметром до 2000 мм, длиной до 21 м; изготов-

ление цилиндров и плунжеров – диаметром до 2000 мм, длиной до 10м.

В цехах имеется более 90 станков с числовым программным управлением (ЧПУ), в том числе обрабатывающие центры, позволяющие с одного установа заготовки производить почти полную механическую обработку, обеспечивая высокую точность:

– цех №5, GS-4300L3 центр металлообрабатывающий с ЧПУ

– цех №10, GS-4300L2 центр металлообрабатывающий с ЧПУ

– цех №10, GS-4000L центр металлообрабатывающий с ЧПУ

– цех №10, VMC-70C фрезерный вертикальный ОЦ

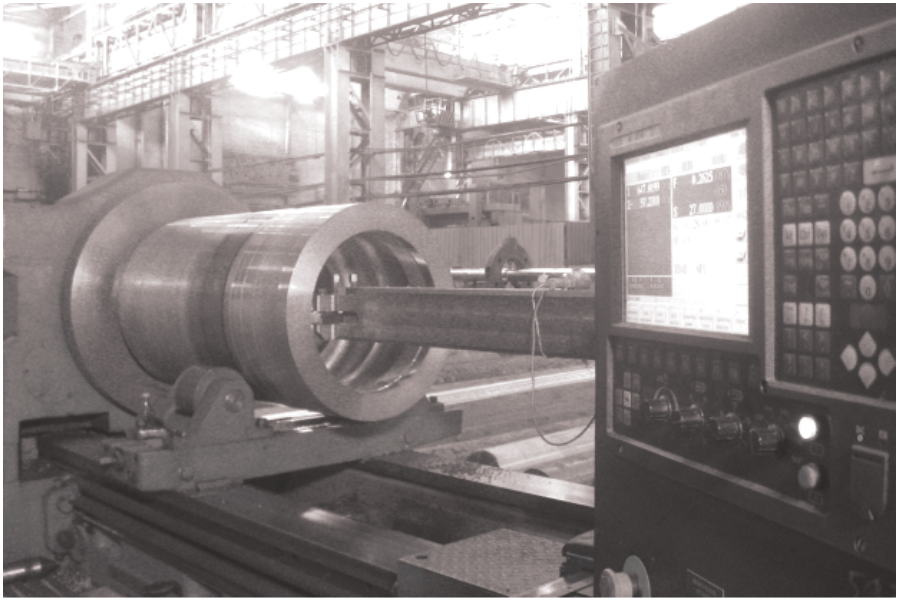


Рис.4 Токарная обработка с ЧПУ



Рис.5 Станок ALPHAMAB 370



Рис.6 Токарный ОЦ с ЧПУ модель EL-52MC

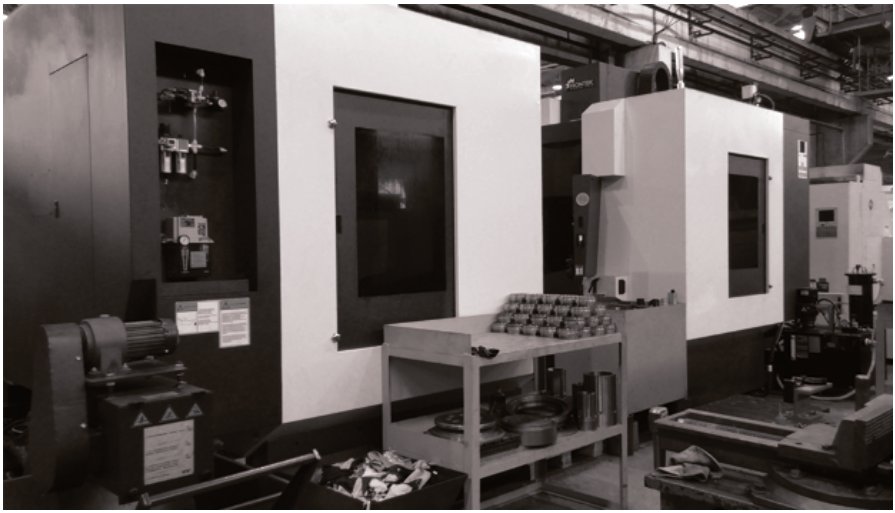


Рис.7 Фрезерный вертикальный ОЦ модель VMC 70C

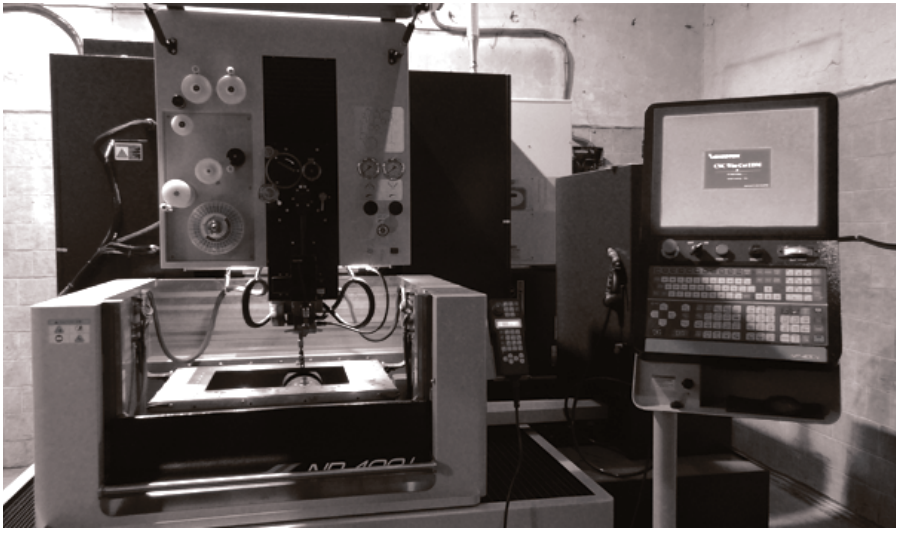


Рис.8 Эл. эрозионный прошивочно-вырезной станок Excetec NP400L



Рис.9 Обрабатывающий центр DAHLIH модель MCV-720 с ЧПУ и MCV-1020BA

На основании лицензионного соглашения между ПАО «Тяжпрессмаш» и ООО «ТМК-Премиум Сервис» освоена нарезка девяти наименований резьб премиум-класса ряда ТМК.

Разрабатываются, изготавливаются и вводятся в эксплуатацию новые испытательные стенды, способные максимально точно имитировать условия, в которых приходится работать оборудованию в реальности. Успешно испытывается оборудование на специальном стенде на буровом и тампонажном растворе, осуществляя его подачу с производительностью до 26 л/сек и давлением до 32 МПа.

Производство лакокрасочных покрытий (ЛКП)

Окраска жидкими лакокрасочными материалами

Для производства ЛКП жидкими красками на предприятии кроме стандартных краскопультов, работающих на сжатом воздухе, применяется аппарат безвоздушного распыления DMX-1500, позволяющий более равномерно и экономично окрашивать труднодоступные участки поверхности.

Для сушки ЛКП используются три окрасочно-сушильные камеры серии «Гелиос» Air Max с максимальными габаритами: длина – 15 м, ширина – 4,5 м, высота – 5 м.

Порошковая окраска

Порошковая окраска производится методом электростатического напыления порошковых красок. Имеется камера порошковой окраски производства ООО «Махаон». Максимальные габариты покрываемых изделий: длина – 2 м, ширина – 0,5 м, высота – 1 м.



Рис.10 Автоматическая линия порошковой окраски

Производство гальванических покрытий

На предприятии имеются два гальванических участка. Покрытия производятся в стационарных ваннах и в операторных линиях.

Производятся следующие виды покрытий:

1. Твердое хромирование стальных деталей. Внутреннее и наружное толщиной слоя до 50 мкм, максимальная длина – 2 м.

2. Блестящее хромирование стальных деталей, внутреннее и наружное толщиной слоя до 50 мкм, максимальная длина – 2 м.

3. Цинковое покрытие с радужной пассиваций толщиной слоя до 21 мкм, максимальная длина 1 м. в барабанной операторной линии ГЛДИ30.035.00.00.00.

4. Цинковое покрытие блестящее с бесцветным хромированием толщиной слоя до 21 мкм, максимальная длина 1 м.

5. Химическое оксидирование с промасливанием, максимальная длина – 500 мм, максимальная масса детали – 500 кг.

6. Химическое фосфатирование с промасливанием максимальная длина – 1,5 м, максимальная масса детали – 400 кг.

7. Кадмирование с радужным хроматированием толщиной слоя до 21 мкм, максимальная длина 1 м.

8. Микродуговое оксидирование деталей из алюминиевого сплава Д16Т, площадь не более 25 дм2.

Имеется операторная линия подвесочного типа для химического оксидирования и фосфатирования с промасливанием.

На предприятии также производятся фирменные таблички (шильдики) фон – матовое серебро (светлый), над-

писи – черный из пластин Master Ton Ultra толщиной 0,6 мм; максимальный размер 270х170 мм с липким слоем.

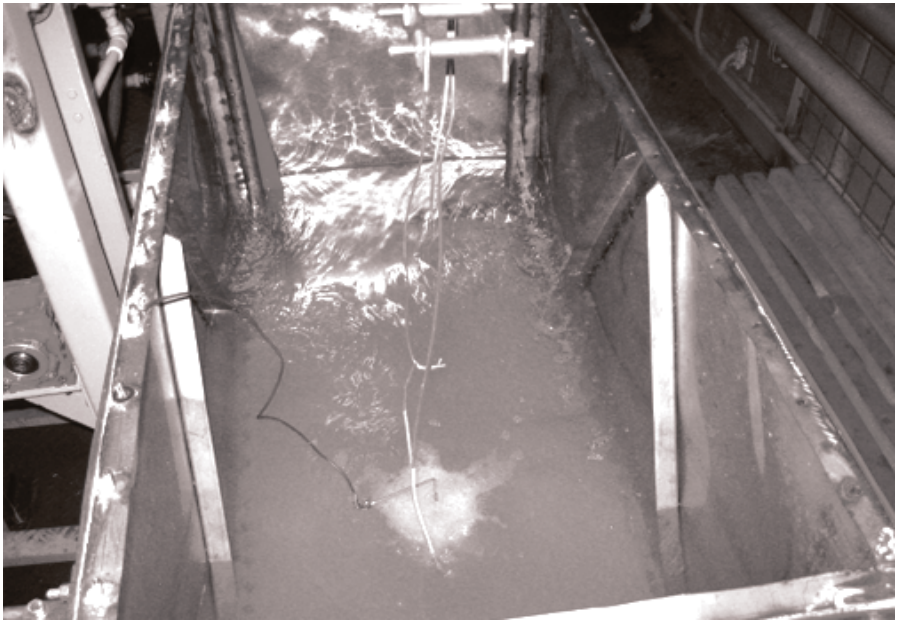


Рис.11 Ванна для гальванических покрытий

Резинотехнические изделия и пластмассы

Для повышения пластичности и подогрева резиновых смесей участок оснащен вальцами типа ПД320 и двумя машинами типа МЧТ-63, МТЧ-125, для калибровки профилируемых заготовок с площадью поперечного сечения от 0,7 см2 до 23,5 см2, что позволяет качественно производить вулканизацию изделий.

Восемь гидравлических прессов с нагревательными плитами типа Д0437; Д2430 усилием до 500 т. позволяет производить прессование как стандартных РТИ по ГОСТ9833-

73; 8752-79; 6678-72; 24811-81; 22704-77; 14896-84, так и оригинальных деталей из резиновых смесей, армированные и резинотканевые: максимальная длина – 500 мм.



Рис.12 Гидравлический пресс с нагревательными плитами ДГ2430А

Наличие двух термопластавтоматов ДЕ132-250 усилием 160 т. и автоклава собственного изготовления позволяет изготавливать оригинальные детали из полиамида, полипропилена, полиэтилена методом литья под давлением массой до 500 гр. Нами освоена технология изготовления деталей порошка фторопласта ЧП методом спекания с последующей механической обработкой с максимальным наружным диаметром 280 мм.



Рис.13 Изготовление деталей из фторопласта методом спекания

УДК 621.7

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ «ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Лавриненко В. Ю., vlavrinenko@bmstu.ru
д.т.н., заведующий кафедрой «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Аннотация

В статье приведено описание инновационных разработок в области технологии и оборудования кузнечно-штамповочного производства, проводимых специалистами кафедры «Технология обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана: повышение эффективности ковочных, штамповочных и листоштамповочных молотов, комплексные исследования и разработка инновационных технологий и оборудования для производства высокопрочных крепежных изделий, а также для изготовления поковок ответственных деталей авиационной техники из жаропрочных никелевых сплавов.

Ключевые слова:кузнечно-штамповочное производство, баба молота с наполнителем, холодная объемная штамповка высокопрочных крепежных и сложнопрофильныхизделий, стали с двухфазной феррито-мартенситной структурой, низкотемпературный нагрев, стойкость инструмента, горячее деформирование жаропрочных никелевых сплавов.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF FORGING AND STAMPING MANUFACTURING. DEVELOPMENTS OF THE DEPARTMENT OF "MATERIAL PROCESSING TECHNOLOGIES" OF BMSTU

Vladislav Lavrinenko, vlavrinenko@bmstu.ru
Doctor of Tech. Science, Head of Department «Material Processing Technologies»
Bauman Moscow State Technical University
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

Abstract

The main results of innovative developments in the field of forging and stamping production technology and equipment, carried out by specialists of the Department of Materials Processing Technolog of BMSTU are presented: increasing the efficiency of forging, stamping and sheet metal stamping hammers, comprehensive research and development of innovative technologies and equipment for the production of high-strength fasteners, as well as research and technology for the manufacture of forgings of critical parts of aircraft equipment from heat-resistant nickel alloys.

Key words: forging and stamping production, hammer head with filler, cold forming of high-strength fastener and complex-shaped parts, steels with a two-phase ferrite-martensite structure, low-temperature heating, tool life, hot deformation of heat-resistant nickel alloys

Одним из направлений повышения эффективности ударного деформирования на ковочных, штамповочных и листоштамповочных молотах является увеличение продолжительности взаимодействия инструмента с заготовкой при удержании падающих частей молота в нижней точке

при ударе путем использования бабы молота с наполнителем. При этом использование бабы молота с наполнителем позволяет увеличить КПД ударного деформирования при ковке и штамповке на молотах (до 1,2 раз), снизить силу деформирования (до 1,3 раза), увеличить работу пластической деформации и КПД удара (до 1,2 раза) по сравнению со стандартной бабой молота[1, 2].

Разработанные рекомендации по использованию бабы молота с наполнителем можно использовать для модернизации ковочных и штамповочных молотов, позволяющей повысить стойкость штоков молотов, сократить общее количество ударов молота для получения поковки заданных размеров, снизить интенсивность охлаждения поковки за весь технологический процесс, уменьшить расход энергии и затраты на производство, а также повысить КПД и производительность молота.

В результате проведенных промышленных испытаний бабы с наполнителем штамповочного молота модели М2140 с массой падающих частей 1000 кг при осадке и штамповке поковок из сталей 45 и 12Х2НВФА в кузнечном цехе АО «ММЗ «Авангард» установлено увеличение степени деформации поковки на каждом ударе и уменьшение количества ударов молота в среднем в 1,25…1,4 раз по сравнению со стандартной бабой молота при соответствии размеров полученных поковок требованиям чертежа.

Проведенный расчет экономической эффективности использования бабы с наполнителем штамповочного молота модели М2140 с массой падающих частей 1000 кг при горячей объемной штамповке поковок «Угольник» из стали 12Х2НВФА, проведенной в кузнечном цехе АО «Московский машиностроительный завод «Авангард», позволил установить:

- снижение нормы штучного времени на штамповку при ис-

пользовании бабы молота с наполнителем на 11%;
- снижение удельного энергопотребления и экономию электроэнергии при использовании бабы молота с наполнителем на 12%;
- снижение удельного потребления сжатого воздуха при использовании бабы молота с наполнителем на 11%.

Кроме этого, на основе результатов экспериментально-теоретических исследований процесса гибки листовых заготовок на молотах был разработан новый технологический процесс изготовления детали «Зашивка», позволивший уменьшить в 2 раза количество ударов молота при гибке на листоштамповочном молоте модели МЛ-1,5 при использовании бабы молота с наполнителем, исключить трудоемкие операции ручной правки и отжига детали, а также уменьшить в 2 – 3 раза общую трудоемкость и время изготовления детали в производственных условиях ПАО «ОАК» - НАЗ «Сокол». Также спроектирована конструкция бабы (стесселя) с наполнителем листоштамповочного молота модели МЛ-1,5 [3].

С 2015 г. на кафедре успешно осуществляет свою деятельность Международный Учебно – инжиниринговый центр – Центр компетенций «Современные технологии ХОШ на автоматах» МГТУ им. Н.Э. Баумана, созданный в 2004 г. для решения актуальных задач отечественного машиностроения, связанной с производством крепежных изделий для авиа-, автомобиле- и тракторостроения, строительства и других отраслей промышленности:
- технический консалтинг и инжиниринговая поддержка предприятий в области технологий и оборудования для холодной объемной штамповки (ХОШ) крепежных и других сложных деталей,
- обучение и повышение квалификации специалистов организаций и предприятий, работающих в области проектиро-

вания и производства крепежных и других сложнопрофильных изделий.

Можно отметить, что настоящее время Международной учебно – инжиниринговый центр «Современные технологии ХОШ на автоматах» МГТУ им. Н.Э. Баумана является практически единственной в нашей стране организацией, проводящей научные исследования и конструкторско-технологические разработки в области передовых технологий и оборудования для производства крепежных и сложнопрофильных изделий[4].

Наиболее энергоёмкими и затратными этапами производственного процесса изготовления высокопрочных крепежных изделий (классом прочности 8.8 и выше) из углеродистых и низколегированных сталей являются подготовка металла и окончательная упрочняющая термическая обработка. Одним из путей снижения энергозатрат и сокращения трудоемкости изготовления высокопрочных крепежных изделий является достижение требуемого уровня служебных свойств только за счет деформационного упрочнения в процессе холодной объемной штамповки углеродистых и низколегированных сталей со специально подготовленной структурой (без завершающего термоупрочнения) [5, 6].Важным преимуществом двухфазной ферритно-мартенситной структуры является повышенная (при заданной прочности) пластичность стали и высокая скорость деформационного упрочнения.

В результате проведенных экспериментально-теоретических исследований были разработаны технология изготовления высокопрочной шпильки М20 из стали 20 с двухфазной ферритно-мартенситной структурой, обеспечивающей получение изделий с классом прочности не менее 8.8 (для ООО «ОСПАЗ», г. Орел»), а также технология изготовления автомобильной шпильки М8 и заготовки дета-

ли «Колесный болт» из стали 20Г2Р с двухфазной ферритно-мартенситной структурой, обеспечивающей получение изделий с классом прочности не менее 10.9 (для АО «БЕЛЗАН»)[7-9].

Применение данных технологий холодной объемной штамповки крепежных изделий из углеродистых и низколегированных сталей с двухфазной ферритно-мартенситной структурой позволит существенно снизить производственные затраты на подготовку металла для последующей холодной объемной штамповки высокопрочных крепежных изделий.

Еще одним направлением повышения эффективности производства крепежных деталей является применение предварительного низкотемпературного нагрева при ХОШ углеродистых и легированных сталей. В проведенных исследованиях [10-14] были определены механические свойства и построены кривые деформирования сталей 32CrB4, 20Г2Р, 40Х13, 41Х1 при предварительном низкотемпературном нагреве заготовок до 400°С, а также построены обобщенные зависимости напряжения течения от температуры заготовки при различных значениях накопленной деформации.

Были разработаны технологии ХОШ сложнопрофильных деталей «Гайка протектора» и «Винт установочный» для ООО «Сатурн», а также деталей «Шаровой палец» и «Гайка квадратная» для АО «БЕЛЗАН» с применением предварительного низкотемпературного нагрева заготовок до температур из установленных рациональных интервалов, которые позволят уменьшить силы деформирования до 1,5 раз, снизить нагрузки и повысить стойкость рабочего инструмента до 3…5 раз [10, 12].

Для реализации данной технологии с применением предварительного низкотемпературного нагрева заготовок

в производственных условиях была разработана конструкция установки электроконтактного нагрева для штамповки сложнопрофильных деталей на холодновысадочных автоматах[14].

Кроме этого, в настоящее время на кафедре проводятся комплексные исследования механических свойств и структуры жаропрочных никелевых сплавов для разработки технологии ковки и горячей объемной штамповки из них поковок ответственных деталей авиационной техники в производственных условиях АО «Ступинская металлургическая компания». Разработаны уникальные методики исследования энергосиловых и кинематических параметров ковочных и штамповочных молотов с использованием систем высокоскоростной видеосъемки [15], проведены исследования микроструктуры и механических свойств жаропрочных никелевых сплавов [16] и разработаны технологические процессы штамповки поковок диска из жаропрочных никелевых сплавов ЭП742-ИД и ЭИ698-ВД, обеспечивающие требуемое высокое качества получаемых изделий [17-18].

Литература

1. Лавриненко В.Ю., Аюпов Т.Х. Расчет экономической эффективности промышленного использования бабы с наполнителем штамповочного молота М2140 // Заготовительные производства в машиностроении. 2020. Том 18. №6. С. 262-266.

2. Лавриненко В.Ю. Проектирование технологических процессов ковки на молотах при деформировании бабой молота с наполнителем. Учебное пособие. М.: Инновационное машиностроение, 2020. 120 с.

3. Vladislav Y. Lavrinenko, Ruslan R. Shagaleev. The Method ofReducingof Springback Effectduring Impact Bending of Sheet Steel Blanks // Materials Science Forum. 2019, Volume 973,

Pages 85-89.
4. Лавриненко В.Ю., Лавриненко Ю.А. Основные направления повышения эффективности производства крепежных деталей для различных отраслей промышленности: к 20-летию Центра компетенций «Современные технологии ХОШ наавтоматах» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22. № 4. С. 188-191.
5. Лавриненко Ю.А., Лавриненко В.Ю., ЕвсюковС.А..Объемная штамповка на автоматах: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 264 с.
6. Lavrinenko, V.Y., Lavrinenko, Y.A. &Govorov, V.A. Materials for Manufacturing Automotive Industry High-StrengthFasteners. Metallurgist 63, 960–966 (2020).
7. Лавриненко В.Ю., Лавриненко Ю.А., Посалина А.Е. Экспериментальные исследования влияния предварительной подготовки на механические свойства двухфазных феррито-мартенситных сталей для изготовления высокопрочных крепежных изделий // Заготовительные производства в машиностроении. 2023. Т. 21. № 1. С.23-27.
8. Лавриненко В.Ю., Лавриненко Ю.А., Галиахметов Т.Ш., Посалина А.Е. Разработка технологии изготовления высокопрочных крепежных изделий из стали 20Г2Р с двухфазной феррито-мартенситной структурой // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22, № 7. С. 311—314.
9. Посалина А.Е. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления высокопрочных крепежных деталей с двухфазной феррито-мартенситной структурой // Заготовительные производства в машиностроении. 2025. Т.23 № 5. С. 221-225
10. Лавриненко В.Ю., Лавриненко Ю.А., Файрузов Р.С., Кирсанов А.С., Габдулхаков И.И. Снижение сил деформи-

рования и нагрузок на инструмент при холодной объемной штамповке сложнопрофильных деталей с использованием предварительного низкотемпературного нагрева заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. 2022. Т. 20. № 1. С. 22-27.
11. Лавриненко В.Ю. Ушаков А.В. Экспериментальные исследования влияния предварительного низкотемпературного нагрева заготовок на механические свойства сталей 41Х1, 20Г2Р и 38ХГНМ // Заготовительные производства в машиностроении. 2025. Т. 23. № 1. С. 14-19.
12. Исследование процесса холодной объемной штамповки сложнопрофильных деталей из сталей 20Г2Р и 41Х1 с использованием предварительного низкотемпературного нагрева заготовок / В. Ю. Лавриненко, А. В. Ушаков, Ю. А. Лавриненко // Заготовительные производства в машиностроении. 2025. Т. 23, № 10. С. 462-465.
13. Ушаков А.В., Лавриненко В.Ю. Исследования воздействия предварительного низкотемпературного нагрева заготовок на механические свойства сталей 41Х1, 20Г2Р И 38ХГНМ // В книге: Magnitogorsk materialsweek. Материалы научной школы и международной молодежной конференции. Магнитогорск, 2026. С. 63-65.
14. Lavrinenko, V.Y., Lavrinenko, Y.A. Design of Installation for Electric Resistance HeatingofWorkpiecesforStampingComplex-Profile Parts on an Automatic Cold Upsetter. Russ. Metall. 2024, 668–673 (2024).
15. Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А., Карягин, М.О., Смирнов М.О., Дорошенко С.А., Лебединец А.Н. Исследование энергосиловых параметров штамповочных молотов в производственных условиях АО «СМК» // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22. № 1. С.16-24.
16. Луганенко Т.Д., Лавриненко В.Ю Исследования меха-

нических свойств и микроструктуры жаропрочного никелевого сплава ЭИ698-ВД в условиях горячего деформирования. В сборнике: Будущее Машиностроения России. Сборник докладов XVIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием). В 2-х томах. Москва, 2026. С. 441-446.
17. Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А., Смирнов М.О., Соколов Д.А. Исследование неравномерности деформации при осадке и штамповке заготовки диска из жаропрочного никелевого сплава ЭП742-ИД // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22. № 2. С. 65-69.
18. Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А., Смирнов М.О., Луганенко Т.Д. Разработка математических моделей процесса горячей объемной штамповки заготовок из жаропрочного никелевого сплава ЭИ698-ВД на штамповочных молотах в производственных условиях АО «СМК» // Заготовительные производства в машиностроении. 2026. Т. 24. № 4. С. 163-170.

УДК 621. 73. 079

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

А.Н. Петров [1], Т.Х. Аюпов [2], П.А. Петров [1], С.В. Мизера [3], М.А. Петров [1]
[1] Московский Политехнический Университет, Москва
[2] АО «ММЗ «Авангард», Москва, [3] ООО «Коллоидно-графитовые препараты», г.Воскресенск

Аннотация

Статья посвящена выбору смазочного материала для горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов с температурой заготовки 350…495°С на гидравлических прессах силой 2,5…16МН. Технологические свойства оценивали методом осадки кольцевого образца. Исследованы минеральные масла, как смазочный материал для процессов горячего и изотермического деформирования и суспензии на основе минеральных и растительных масел, с графитом разной природы и дисперсности в сочетании с присадками. Показано на примере детали «Поршень» различия в применении смазок для технологий горячей и горячей изотермической штамповки.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, гидравлический пресс, кольцевые образцы, смазочный материал, состав, дисперсность.

Введение

Изыскание новых составов смазочных материалов для процессов горячего и изотермического деформирова-

ния разных металлов и сплавов всегда было и будет одной из актуальных задач для новых и действующих технологических процессов в обработке металлов давлением.

Себестоимость изделий (поковок) в кузнечном производстве складывается из затрат на материалы заготовок и инструмента,на расходные материалы (смазочные материалы),на амортизацию оборудования, зарплату и т.д. Затраты на изготовление и восстановление инструментов (штампов) могут достигать 40-50% и напрямую связаны с расходом и стоимостью смазочных материалов [1-3]. Смазочные материалы обеспечивают стабильность технологического процесса, снижают уровень брака,повышают стойкость инструмента, улучшают экологическую среду и повышают культуру производства[4-6].

В зависимости от технологического процесса: материала заготовок, степени сложности поковок, вида оборудования, средств автоматизации и объемов производства, можно встретить разные виды смазочных материалов. В крупносерийном производстве, на автоматизированных горячештамповочных линиях штамповки углеродистых и легированных сталей применяют коллоидно-графитовые смазочные материалы на водной основе, например АГ-4, АСВКС[7]; в серийном и мелкосерийном производстве применяют смазочный материал (далее, - СМ) марки ТВ-6 в сочетании с защитным покрытием заготовок марки ОВТ-1 для штамповки труднодеформируемых никелевых сплавов на электровинтовых прессах[8]; коллоидно-графитовый СМ на водной основе марки ВКГС-О применяют для горячей штамповки титановых сплавов на горячештамповочных прессах[8]; суспензии масла с графитом разной дисперсности и природы применяют для горячей и изотермической штамповки алюминиевых сплавов на кривошипных и гидравлических прессах [8, 9]. В таблице 1 приведены некоторые

сведения из практики применения смазочных материалов для горячего и изотермического деформирования различных материалов [8].

Таблица 1

Масла и смазочные материалы на основе масел для процессов обработки материалов давлением

№ п/п	наименование смазочного материала	способ нанесения	область применения
1	масло индустриальное И-20А	вручную	горячая объемная штамповка латуни на прессах
2	масло индустриальное И-50А с графитом С-1 (30%)	вручную	горячее выдавливание никелевых сплавов на прессах
3	масло цилиндровое Ц-38 с графитом С-1 (30-35%)	вручную	горячая объемная штамповка углеродистых и легированных сталей на прессах
4	масло цилиндровое Ц-52 (ВАПОР) с графитом С-1(10-15%)	вручную	горячая объемная штамповка алюминиевых сплавов на прессах
5	масло цилиндровое Ц-52 (ВАПОР) с графитом (30%)	вручную	горячая объемная штамповка никелевых сплавов на молотах
6	масло цилиндровое Ц-52 (ВАПОР) с графитом С-1 (50%)	вручную	изотермическая штамповка алюминиевых сплавов на прессах

Известно, что основные физико-химические показатели масел, это температура вспышки в открытом тигле, плотность при 20°С и кинематическая вязкость при определенной температуре. В таблице 2 приведены физико-химические показатели минеральных масел согласно требованиям нормативных документов (ГОСТ 20799-22, ГОСТ 6411-76).

Таблица 2

Физико-химические показатели масел (по ГОСТ)

№ п/п	наименование образца	Т вспышки °С	плотность при 20 ° С, кг/м3	Вязкость, сСт
1	масло индустриальное И50А	225	910	90-110 при 40ºС
2	масло цилиндровое Ц38	300	930	32-50 при 100ºС
3	масло цилиндровое Ц52	310	930	50-70 при 100ºС

Первые упоминания о разработчиках новых смазочных материалов, улучшающих условия труда относятся к фирме«Ачесон» (Англия), где были разработаны коллоидно-графитовые суспензии «Ойлдаг» на масляной основе. Есть и другие фирмы: Condat, Henkel, Fenella, Fuchs,

Hitachi, которые выпускают уже готовые суспензии на масляной основе[8, 9]. Разработки этих фирм нашли применение в различных отраслях промышленности, в том числе и в машиностроении, в кузнечно-штамповочном производстве, для штамповки поковок из углеродистых сталей и сплавов. В России смазочные материалы такого типа разработаны и разрабатывают на ООО «Коллоидно-графитовые препараты», ОАО «Мариупольский графитовый завод» и других предприятиях. С появлением в 60-х годах XX века технологических процессов, например горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов [10, 11],возникла необходимость разработки отечественных смазочных материалов на масляной основе [12], обеспечивающих высокую температуру вспышки. В условиях горячей изотермической штамповки, в том числе алюминиевых сплавов,в начале рабочего хода заготовка и инструмент нагреты до температуры горячей штамповки деформируемого металла [11,13].

В качестве примера, иллюстрирующего особенности горячей изотермической штамповки (ИШ), рассмотрим процесс деформирования мерной заготовки алюминиевого сплава АК6 в условиях горячей объемной штамповки (ГОШ) и в изотермических условиях для изготовления штампованной поковки детали «Поршень» (рис.1).

На рисунке 1а представлены результаты компьютерного моделирования горячей объемной штамповки поковки «Поршень»; фактор трения СМ – 0,3. На рисунке 1б представлены результаты компьютерного моделирования горячей изотермической штамповки также поковки «Поршень»; фактор трения СМ – 0,3.

Анализ полученных результатов показывает, что диапазон температуры в очаге деформации в конце рабочего хода пуансона составляет 250…315 °С для технологии ГОШ и 438…459°С для технологии ИШ.

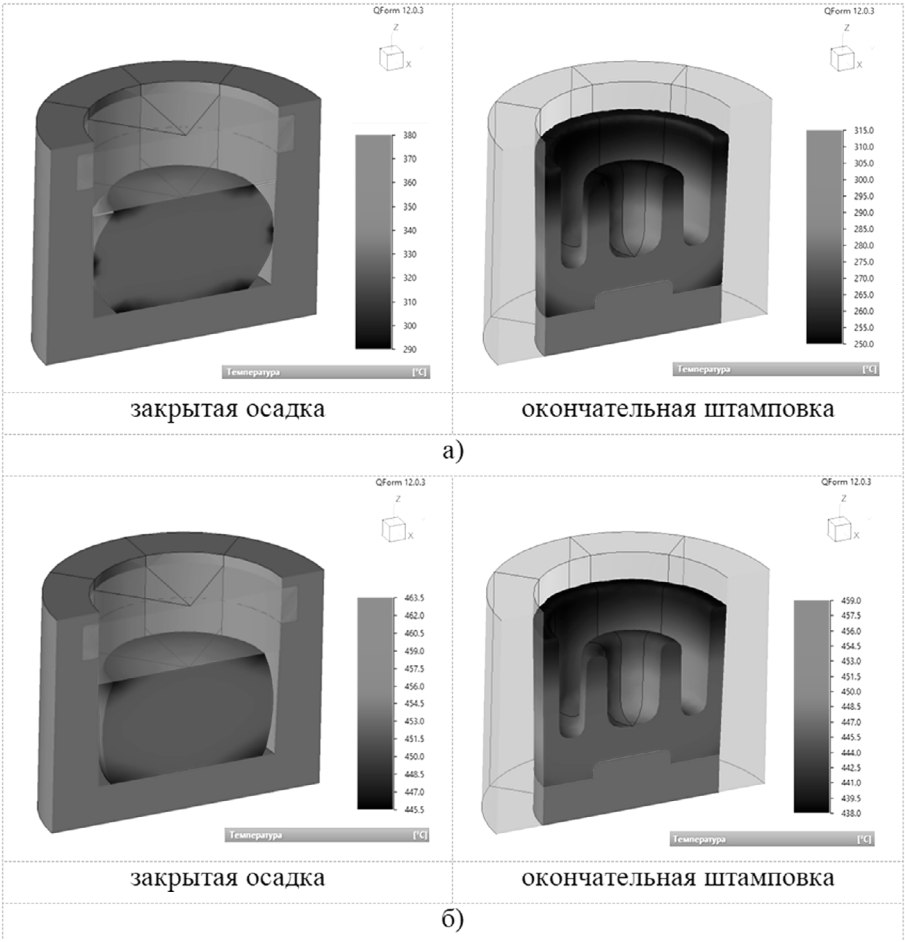


Рис.1. Сравнение распределения температуры в деформируемом металле при изготовлении штампованной поковки «Поршень»: а – в условиях ГОШ; б – в условиях ИШ

Диапазон температур штамповки алюминиевого сплава АК6 узкий; требуется предотвратить падение температуры деформируемого материала из-за теплопередачи от металла заготовки в металл штампа (рис.1а). Для этого

необходимо выполнить несколько условий при штамповке на гидравлическом прессе, применяемом для горячей изотермической штамповки:

1. минимальная потеря температуры обеспечивается при малой разнице между начальной температурой штампа и температурой исходной заготовки;

2. штамповка выполняется при низкой скорости деформирования;

3. штамповка выполняется при низком значении фактора трения СМ на контактной поверхности «заготовка»-«инструмент».

Вышеперечисленным условиям соответствуют условия выполнения горячей изотермической штамповки – данные для расчета в пункте 6-8 таблицы 1 и таблицы 2.

Для точного задания контактных условий также необходимо уточнить взаимосвязь между фактором трения смазки и температурой металла при его пластической деформации в процессе выполнения закрытой осадки и окончательной штамповки в штампе для выдавливания.

Цель работы: исследование и выбор СМ для горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов.

Сведения об исследуемых смазочных материалах

В статье приведены результаты аналитических исследований СМ на масляной основе марки МС-23, МС-23М, МС-25, СТ-26для изотермического деформирования алюминиевых сплавов АМг6, АК4-1,АК6, АК12Д на гидравлических прессах. Исследуемые смазочные материалы разработаны ООО «Коллоидно-графитовые препараты» (г. Воскресенск, МО).

МС-23 представляет собой суспензию термографита в минеральном масле с термостойкой добавкой; МС-23М - суспензию природного графита в минеральном масле с термостойкой добавкой; МС-25, это суспензия природного графита в минеральном масле с антифрикционной добавкой; СТ-26-суспензия коллоидного графита на основе синтетического масла с присадками и добавками. В таблице 3 приведены основные показатели вышеперечисленных смазочных материалов.

Таблица 3

Основные показатели исследуемых смазочных материалов по техническим условиям «ООО Коллоидно-графитовые препараты» (г. Воскресенск, МО)

марка смазочного материала	плотность ρ, кг/м^3,	вязкость кинематическая, υ, при 100° С	температура вспышки базового масла °С не менее
МС-23	1086	77	307
МС-23М	1104	77	320
МС-25	981	493 при 40°С	278 (смазки)
СТ-26	1162	238 при 20 °С	304

Методика выполнения исследований

Методика включает три этапа исследования:

1. исследование влияния температуры на потерю массы СМ;

2. исследование влияния состава СМ на величину контактного трения;

3. производственные исследования СМ для горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов системы Al-Mg и Al-Mg-Si-Cu.

Для исследования влияния температуры на потерю массы смазочного материала применили термогравиметрический анализ с применением прибора Fritch. Сравнивали смазочную композицию 2 и готовые смазочные материалы, с содержанием графита разной природы и дисперсности от 20 до 35 %[14]В таблице 4 и на рисунке 2 показана потеря массы состава СМ при изменении температуры в диапазоне 350…500°С.

Таблица 4

Потеря массы при изменении температуры смазочных материалов с содержанием графита от 20 до 35% [16]

смазочный материал	температура ° С		
	350	450	500
композиция масла цилиндрового Ц52 с графитом	0,19	2,20	16,87
МС-23	0,27	2,52	16,92
МС-23М	0,17	2,65	13,21
СТ-26	0,38	4,09	11,53

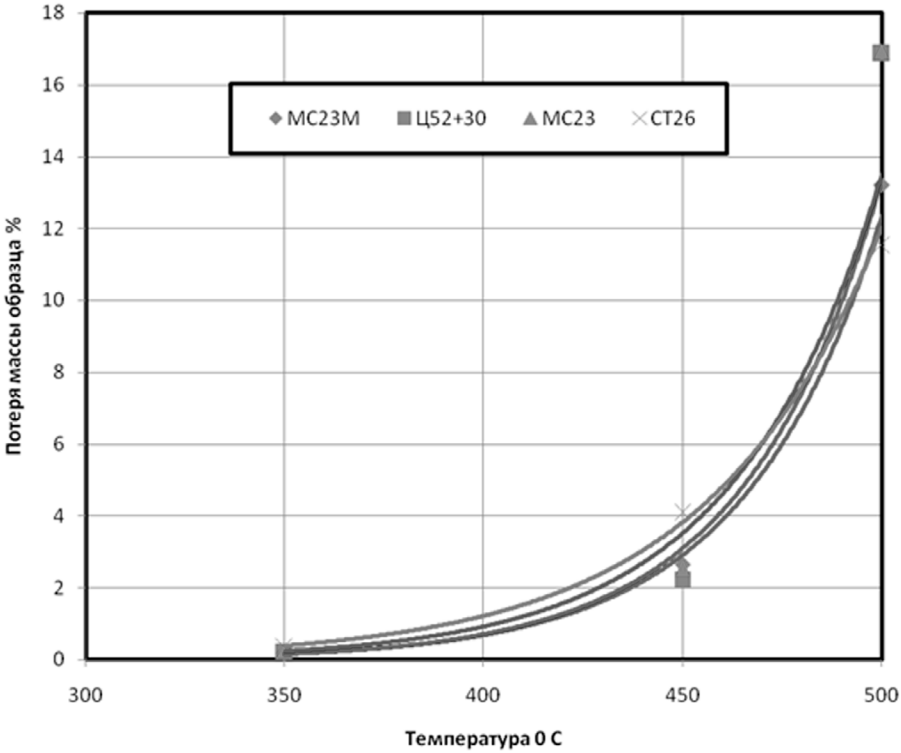


Рис.2. Сравнение свойств смазочных материалов с содержанием графита 20,30 и 35%

Для исследования влияния состава на величину контактного трения применили метод осадки кольцевого образца, как одного из простых методов по сравнению с другими известными методами [14]. Кольцевые образцы из алюминиевого сплава размером DxdxH=40x20x14мм осаживали в изотермических условиях на гидравлическом прессе силой 2,5МН. Скорость деформирования составляла 2мм/сек. Скорость деформации - 0,14$с^{-1}$. Величина деформирования - 50%. Осадку образцов выполняли при температурах 200,

430, 450 и 470 ºС. Смазочные материалы МС-23 и СТ-26 выбраны из таблицы 4 с наибольшей и наименьшей потерей массы при нагреве до 500 °С. В таблице 5 и на рисунке 3 показано изменение фактора трения $m = \mu\sqrt{3}$ при температурах от 200 до 470 °С.

Таблица 5

Влияние температуры на изменение фактора трения m=f(T) [8]

смазочный материал	температура °С			
	200	430	450	470
СТ-26	0,171	0,155	0,118	0,110
МС-23	0,245	0,150	0,120	0,143

Экспериментальные исследования СТ-26 и МС-23 выполняли на гидравлическом прессе силой 2,5МН в процессе изотермической штамповки поршней из алюминиевого сплава системы Al-Mg, АМг6, рисунок 2.



Рис. 3. Поршни: 1 и 3 – после штамповки;
2 и 4 – после механической обработки

Температура нагрева заготовки и штампа составляла 4500С. Критерием оценки выбрали несколько показателей, определяющих качество изготавливаемой поковки (таблица 6). Визуальные наблюдения показали некоторые различия в испытываемых смазочных материалах. В таблице 6 приведены полученные результаты исследований смазочных материалов СТ-26 и МС-23.

Таблица 6

Исследование смазочных материалов СТ-26 и МС-23

№ п/п	материал заготовок	смазочный материал	результат
1	АМг-6	СТ-26	1. хорошая кроющая способность 2. незначительное дымообразование 3. хорошее качество поковок 4. следы металлического пигмента на поверхности поковки
2	АМг-6	МС-23	1. хорошая кроющая способность 2. незначительное дымообразование 3. хорошее качество поковок

Выбор дисперсионной среды, природы графита, процентного содержания графита и его дисперсности, а также термостабилизирующих присадок имеет большое значение для приготовления требуемой смазочной композиции и, как следствие, существенно влияет на процесс деформирования и износ штампов [7, 8, 14].

Аналогические экспериментальные исследования выполнены на алюминиевом сплаве АК-6. Осадку кольцевых образцов с соотношением размеров 6:3:2 (40х20х14мм), рисунок 4, выполняли на гидравлическом прессе силой 16,0МН с подкладным кольцом D=150мм; d=70мм; H=7,0мм.

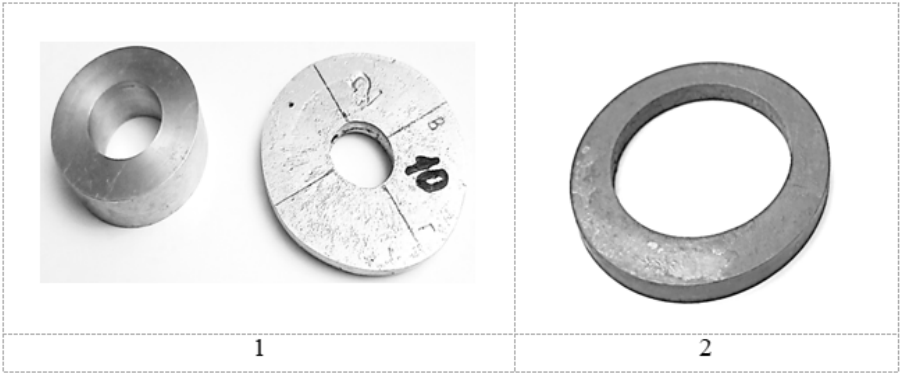


Рис.4. Кольцевой образец из сплава АК-6: 1 – типовой образец до и после осадки;2-подкладное кольцо 150х70 х7,0мм

Подкладное кольцо устанавливали на поверхность нижнего плоского штампа пресса, а вокруг наружного диаметра кольца, по окружности, укладывали образцы, рис.4.

Алюминиевый сплав АК-6, ГОСТ 4784-2019 «Алюминий и сплавы деформируемые», представляет собой сплав системы Al-Mg-Si-Cu, химический состав сплава показан в таблице 7.

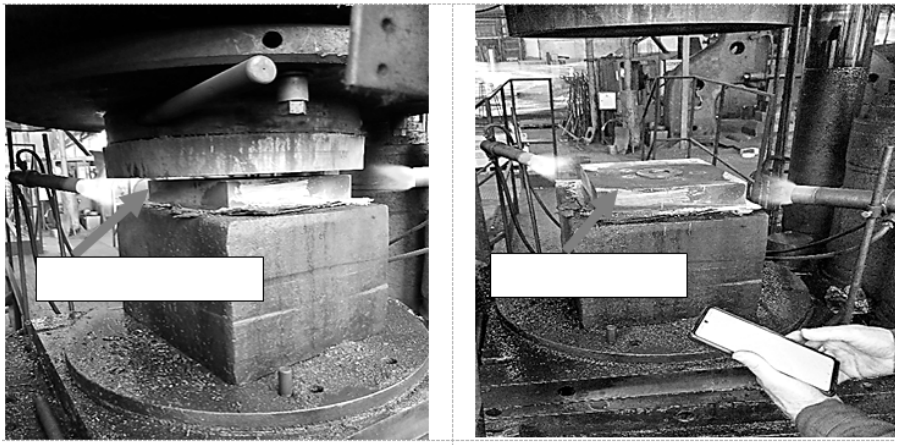
Таблица 7

Химический состав АК-6, ГОСТ 4784-2019

сплав	массовая доля элементов, %								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni
АК-6	0,7-1,2	0,7	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	-	0,3	0,1	0,1

Сплав обладает высокой твердостью, средней прочностью, хорошей пластичностью и высокой коррозионной стойкостью. После термообработки предел прочности составляет 355 МПа, и относительное удлинение 12% по ГОСТ 21488-2025 «Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов». Сплав АК6 применяют для изготовления сложных поковок.

Кольцевые образцы осаживали на гидравлическом прессе силой 16МН, со скоростью 2,5 мм/с при температуре деформирования 470+10°С, с исследуемыми материалами МС-23 и МС-25. Осадку выполняли на плоских штампах за один ход пресса. Величина деформации (в процентах) составляла: 61≥ε>50. Температуру штампов и заготовок измеряли инфракрасным пирометром «Кельвин». Нагрев заготовок осуществляли в камерной электрической печи.



1 2

Рис.5. Осадка кольцевых образцов из алюминиевого сплава АК-6: 1-кольцевые образцы в момент осадки; 2-кольцевые образцы после осадки

Штампы подогревали газовыми горелками, расположенными с двух сторон нижнего штампа, до температуры выше 350°С. Температура в закрытом штампе, в момент осадки образцов, в зазоре равном 7,0 мм, составляла 450°С, рис. 5.

На рисунке 6 показаны кольцевые образцы АК-6 после осадки. Средние значения размеров: наружный диаметр кольцевого образца после осадки - Dср; внутренний диаметр кольцевого образца после осадки - dср; высота кольцевого образца после осадки - hср и средняя величина деформации ε,рассчитаны по формулам (1) - (4); Внутренний диаметр dср замеряли по двум взаимно перпендикулярным осям в трех сечениях: верхнее, среднее, нижнее.

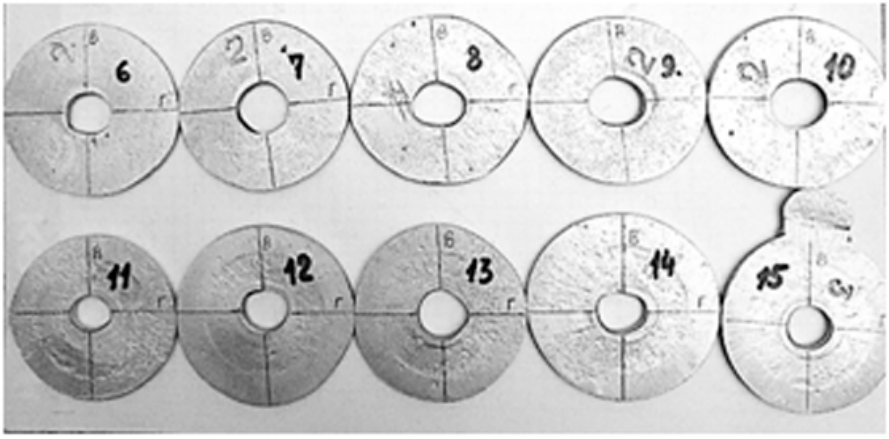


Рис.6. Кольцевые образцы АК-6 после осадки: 1-ый ряд-МС-23; 2-ой ряд-МС-25

$$Dcp = \frac{D1 + D2}{2} \quad (1)$$

$$dcp = \frac{d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6}{6} \quad (2)$$

$$hcp = \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{14 - h_{cp}}{14} \quad (4)$$

В таблице 8 приведены результаты расчета размеров кольцевых образцов после осадки с учетом формул (1) - (4). На рис. 7 приведен график зависимости внутреннего диаметра образца после осадки от технологических параметров:

$$d = f(\varepsilon, T_{всп.}, T_{конт.}),$$

где d– внутренний диаметр образца после осадки, мм;
ε – величина деформации, %, формула (4);
Твсп. – температура вспышки смазочного материала, °С;
Тконт. – температура на контакте «инструмент-заготовка».
За критерий оценки смазочных материалов на масляной основе принят коэффициент $K = \frac{T_{всп}}{T_{конт}}$,
учитывающий физико-химические свойства СМ: температуру вспышки, и температуру на контакте «инструмент-заготовка».

Таблица 8

Результаты осадки кольцевых образцов

№	СМ	dcp	hcp	Dcp	ε	Tконт.	Tвсп.	K
6		15,02	5,40	58,95	40,00			
7		17,25	5,13	55,55	63,40			
8	МС-23	16,10	5,53	57,80	60,50			
9		16,83	6,08	55,65	50,50			
10		16,80	5,90	55,80	57,80			
∑ср		16,40	5,61	56,75	60,00	353	309	0,88
11		12,37	5,67	53,75	59,50			
12		14,62	5,13	59,70	63,40			
13	МС-25	16,15	5,60	56,60	60,00			
14		13,88	4,90	60,85	65,00			
15		13,98	5,75	56,10	58,90			
∑ср		14,20	5,41	57,40	61,00	340	275	0,80

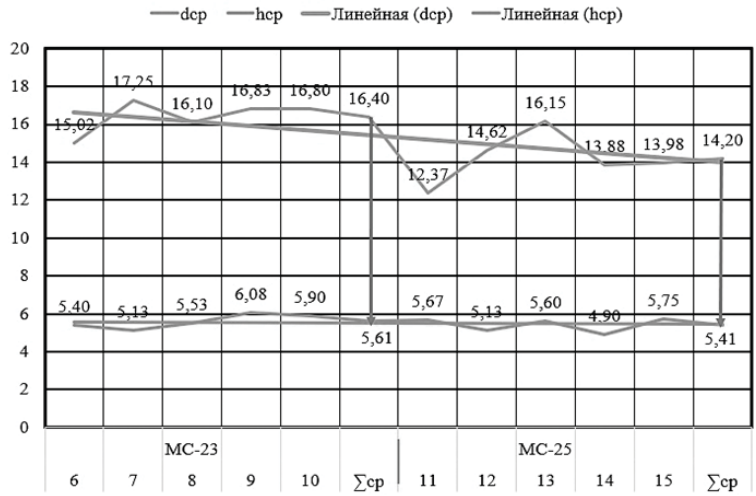


Рис.7. График зависимости $d = f(\varepsilon, T_{\text{всп.}}, T_{\text{конт.}})$

Результаты и обсуждения

Полученные результаты экспериментов дают первичную сравнительную информацию СМ для условий изотермической осадки. Эта информация необходима для теоретического исследования осадки в компьютерной программе; сравнения с полученными экспериментальными результатами; определения численного значения коэффициентов (факторов) трения и выбора оптимального состава СМ.

Заключение

1. Исследованы составы и свойства смазочных материалов МС-23,МС-23М, МС-25, СТ-26 предназначенных для горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов.

2. Установлено, что СМ марки МС-23 по физико-химическим и технологическим свойствам превосходит МС-25 и СТ-26 применительно к горячей изотермической штамповке алюминиевых сплавов системы Al-Mg, Al-Mg-Cu-Fe-Ni при температуре не выше 450°С.

3. Смазочный материал МС-23М по своим физико-химическим свойствам может «работать» в условиях горячей изотермической штамповки алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si-Cu и Al-Si-Cu в более широком диапазоне 350…500°С.

4. Коэффициент смазки «К», применяемый в данной работе для оценки эффективности смазочного материала на масляной основе, для МС-23М составляет 0,95>К>0,8.

5. Для подтверждения предпосылок применения смазочного материала МС-23М на алюминиевых сплавах п.3 в условиях горячей изотермической штамповки, выполнены теоретические расчеты для дальнейших экспериментов в производственных условиях.

Литература

1. Hawryluk M., Dudkiewicz Ł., Marzec J., Rychlik M., Tkocz R. Selected Aspects of Lubrication in Die Forging Processes at Elevated Temperatures - A Review. // Lubricants, 2023, 11(5), 206

2. Kim YJ., Choi CH. A study on life estimation of hot forging die. // Int. J. Precis. Eng. Manuf. 2009, 10, 105–113.

3. Salcedo D., LuisC.J., LuriR., LeónJ., PuertasI., FuertesJ.P.Design and optimization of the dies for the isothermal forging of a cam. // Procedia Engineering 132 (2015) 1069 – 1076.

4. Angella G., Di Schino A., Donnini R., Richetta M., Testani C., Varone A. AA7050 Al Alloy Hot-Forging Process for Improved Fracture Toughness Properties. Metals, 2019, 9(1), 64.

5. ShanD.B.,Wang Z.,Lu Y.,XueK.M.Study on isothermal precision forging technology for a cylindrical aluminium-alloy housing. // Journal of Materials Processing Technology, 1997, 72(3), 403-406.

6. Analysis of isothermal forging process and mechanical properties of complex aluminum forging for aviation. // Journal of Central South University, 2014, 21(7), 2612-2616.

7. Петров А.Н. Коллоидно-графитовые смазочные материалы в процессах горячего деформирования сталей и сплавов. М.: МГМУ «МАМИ», 2012. 212 с.

8. Петров А.Н. Коллоидно-графитовые смазочные материалы в процессах обработки металлов давлением: монография / А. Н. Петров. - Москва: Московский Политех, 2019. – 216с.

9. Петров А.Н. Исследование коллоидно-графитового смазочного материала на масляной основе // Кузнечно-штамповочное производство и Обработка металлов давлением. М.: 2012, №4, с.38-40.

10. Фиглин С.З., Бойцов В.В., Калпин Ю.Г., Каплин Ю.И. Изотермическое деформирование металлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.

11. Нестеров В.С., Кривов Н.А., Кропинов В.Е. Опыт штамповки деталей из алюминиевых и магниевых сплавов в изотермических условиях. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 5. – с. 26-27.

12. Петров А. Н., Аюпов Т.Х., Мизера С.В. Исследование смазочных материалов для горячей штамповки алюминиевых сплавов / А. Н. Петров, Т.Х. Аюпов, С. В. Мизера // Технология легких сплавов. М.: 2023, №2, с.48-53.

13. Калпин Ю.Г. Разработка обобщенной теории и технологии объемной изотермической штамповки. Диссертация на соиск. ученой степени докт. техн. наук. / Ю.Г. Калпин. М.: 1986.

14. Петров А.Н., Петров П.А., Петров М.А. Research into oil-based colloidal-graphite lubricants for forging of Al-based alloys //AIP Conference Proceedings 1353, 2011, pp.1818-1823.

Авторы

1. Петров Александр Николаевич, д.т.н., Московский Политехнический Университет
моб.: +7(916) 505-0754
email: alexander_petr@mail.ru

2. Аюпов Тафкил Хаматдинович, к.т.н., АО «ММЗ «Авангард»
моб.: +7 (915) 363-7440
email: ayupov.tafkil@yandex.ru

3.Петров Павел Александрович, к.т.н. Московский Политехнический Университет

4. Мизера Светлана Викторовна, ООО «Коллоид-

но-графитовыепрепараты»
моб.: +7 (915) 194- 45-41
email: smizera@mail.ru

5. Петров Михаил Александрович, к.т.н. Московский Политехнический Университет

INVESTIGATION INTO LUBRICANT MATERIALS FOR ISOTHERMAL AL-BASED ALLOYS

A.N. Petrov1, T.H. Ayupov2, P.A. Petrov1, S.V. Mizera3, M.A. Petrov1

[1] Moscow Polytech
[2] JSC «MMZ «Avangard»
[3] LLC «Colloidal graphite productions»

Abstract

This article deals with researching of the oil-based graphite lubricants for isothermal forging Al-based alloy such as Al-Mg, Al-Mg-Cu-Fe-Ni и Al-Mg-Si-Cu и Al-Si-Cu. The method of upsetting ring samples was taken. Oil-based lubricants MS-23, MS-23M, and MS-25 were used. These lubricants had different graphite dispersions and different components. Contact friction was researched together with the lubricants. Upsetting of the ring samples were carried with hydraulic press capacity 16MN. Results of the researching were presented by this article. We claimed that composition of the oil-based lubricants affected on contact friction.

Keywords: Al-based alloy, hydraulic press, ring samples, lubricants, composition, dispersion

Authors:

1.Petrov Alexander Nikolayevitch, Dr. Ing, Moscow

Polytech
c. ph. +7(916) 505-0754
email: alexander_petr@mail.ru
2.Ayupov Tafkil Hamatdinovitch, PhD, JSC «MMZ «Avangard»
c.ph. +7 (915) 363-7440
email: ayupov.tafkil@yandex.ru
3. Petrov Pavel Alexandrovitch, PHD, Moscow Polytech
4. Mizera Svetlana Victorovna, LLC «Colloidal-graphite production»
c.ph. +7 (915) 194- 45-41
email: smizera@mail.ru
5. Petrov Michael Alexandrovitch, PHD, Moscow Polytech

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В РАЗРАБОТКЕ, ИЗГОТОВЛЕНИИ И СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Жигунов А.Е. – технический директор,
АО Машиностроительная компания «Теплохиммонтаж - Пром.печи», Старый Оскол, Белгородская обл.

Не секрет, что начиная с середины 80-х годов прошлого века большая часть современного оборудования приобреталась у западных производителей. Это решение позволяло на протяжении десятилетий получать в производстве оборудование и технологические решения, полностью отвечающее тенденциям сегодняшнего дня, но закономерно привело к деградации отечественной машиностроительной отрасли. В настоящий момент отечественных производителей, сохраняющих компетенции в разработке и изготовлении современного оборудования крайне мало, выбор отечественных комплектующих достаточно скуден.

Ни для кого не секрет, что, начиная с 2020 года, многие западные производители оборудования ограничили, а то исключили свое присутствие на российском рынке. Причем, происходил этот «отток» достаточно резко, зачастую с нарушением контрактных обязательств. Много закупленного в тот момент оборудования было поставлено не вовремя, недопоставлено, не введено должным образом в эксплуатацию. Как результат – оборудование работает, не полностью реализуя заложенные в него возможности, сервисное обслуживание невозможно. С оборудованием, закупленным по параллельному импорту, ситуация еще сложнее. Такое оборудование изначально лишено гарантии и сервиса. Хотелось бы отметить, что «восточный разворот», имеющий

место сегодня при закупках сложного оборудования, не всегда оправдан. Зачастую оборудование, приобретенное на азиатских рынках, также имеет проблемы с сервисным обслуживанием, ремонтом и т.д.

Все вышеперечисленные проблемы более чем актуальны для оборудования для термообработки. Ни для кого не секрет, что термообработка, являясь финальной стадией производства, зачастую дает последний шанс обеспечить необходимое качество конечной продукции. Соответственно, год от года требования, предъявляемые к оборудованию для нагрева и термообработки становятся все жестче. Даже современное оборудование без периодического сервиса и аттестации теряет возможности соответствовать требуемой температурной точности, скорости нагрева, выдержки, обеспечивать требуемые экологические параметры.

АО «ТХМ-ПромПечь» накоплен уникальный опыт в создании современных термических и нагревательных печей, ни в чем не уступающих лучшим западным аналогам. Специалисты предприятия владеют не только навыками выполнения сложных теплотехнических, кинематических и прочностных расчетов, но и вполне освоили системы математического моделирования тепловых и аэродинамических процессов в печах. Как результат – точное соответствие процессов на практике проектным показателям, полная удовлетворенность Заказчика.

Результатом работы в последние годы явился четкий подход к выбору комплектующих и материалов, применяемых для печей. Европейский импорт практически исключен из оборудования, с каждым днем уменьшается доля прочего импорта. Ряд печей уже может быть построен на комплектующих исключительно российского производства без снижения качества, что еще пять лет назад было совершенно нереально. Вот краткий перечень применяемого

оборудования.

В качестве горелочных устройств применяются горелки отечественного производства либо, в качестве исключения, производства дружественных стран. Освоено применение отечественных вентиляторов и дымососов.

Для футеровки стен, свода, заслонок печей, работающих при температуре до 1300°С применяются малоинерционные волокнистые огнеупорные материалы с плотностью 160…200 кг/м3 и низкой теплопроводностью российского производства. Стойкость такой футеровки не менее 10-15 лет, а затраты на прогрев – в несколько раз ниже, чем у шамотной. Для высоких температур, нагруженных конструкций, специальных условий эксплуатации, могут быть предложены многослойные футеровки из жестких огнеупорных материалов. В качестве таковых могут быть использованы как системы из штучных огнеупоров различной плотности, так и применение жаропрочных и теплоизоляционных бетонов. Предприятием накоплен уникальный опыт в выполнении футеровочных работ на агрегатах различного назначения и сложности. Имеется собственное производство жаростойкого цемента и бетонов на его основе.

В системах управления печами импортные PLC с успехом заменяются отечественными, понемногу элементная база систем управления переходит на отечественную комплектацию.

Результатом приобретения оборудования у АО «ТХМ-ПромПечь» для каждого Заказчика станет получение ряда существенных преимуществ:

• Оборудование будет полностью соответствовать Техническому Заданию, нормам промышленного законодательства, экологии. Оборудование сдается в РТН совмест-

но Заказчиком и Исполнителем.

• Сопровождение монтажных и наладочных работ непосредственно специалистами разработчика оборудования.

• Обучение персонала Заказчика. Удаленная поддержка оборудования на протяжении всего его жизненного цикла;

• Быстрое и своевременное гарантийное и сервисное обслуживание.

Специалистами АО «ТХМ-ПромПечь» накоплен немалый опыт реверс-инжиниринга промышленных объектов. При необходимости могут быть оказаны услуги по созданию печей-аналогов, доработке или перепроектирования существующего оборудования импортного производства, добавления в него новых технических и технологических возможностей. Могут быть оказаны услуги по обследованию, доработке ПО, наладке и сервисному обслуживанию печей сторонних производителей.

Также нами предлагается следующий комплекс услуг:

• обследование и экспертиза объектов

• проектирование и строительство фундаментов, производственных цехов, дымовых каналов, труб и т.д.

• проектирование тепловых агрегатов и систем управления к ним

• изготовление металлоконструкций, нестандартного оборудования, контрольная сборка, предварительные испытания

• изготовление и испытание системы управления. Разработка программного обеспечения PLC

• логистические операции

• выполнение футеровочных работ

• монтаж и шефмонтаж

• пуско-наладочные работы

• сервисное обслуживание

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ПЕРЕПЛАВ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАСКАТНЫХ КОЛЕЦ И ПОКОВОК

Фатьянов Д.С., ООО «Завод кольцевых заготовок», Омск

В производстве раскатного кольца основные затраты возникают не только на самой раскатке. Значительная их часть приходится на подготовку исходной заготовки. При традиционной схеме прокат или слиток необходимо разрезать, выровнять торцы, нагреть, осадить, прошить центральное отверстие, повторно нагреть и лишь затем передать на кольцераскатную машину. Каждая операция требует времени и энергии, сопровождается угаром металла и добавляет риск отклонения геометрии или появления дефекта.

Завод кольцевых заготовок предлагает изменить саму исходную точку процесса — использовать полую заготовку центробежного электрошлакового литья (рис.1). При ЦЭШЛ металл проходит электрошлаковое рафинирование, а вращение формы сразу создаёт тело кольцевой конфигурации с заданным центральным отверстием. Заказчик получает не массивную заготовку, которую ещё предстоит осаживать и прошивать, а металл, уже подготовленный по форме к последующей горячей раскатке - кольцо с точно заданным химическим составом, равномерной толщиной стенки и чётко определённым центральным отверстием. Данные параметры являются определяющими в подготовке исходной заготовки для последующего горячего деформирования на кольцераскатной машине.

Практический эффект состоит в сокращении технологической цепочки. По опыту ЗКЗ, вместо семи операций остаются три-четыре, а количество нагревов снижается с трёх-четырёх до одного-двух. Исключаются осадка и про-

шивка, уменьшаются припуски и потери металла, коэффициент его использования может достигать 85 процентов. Производственный цикл сокращается примерно на треть. (табл.1) Это означает меньшую загрузку прессового и нагревательного оборудования, снижение энергозатрат и более быстрое выполнение заказа.

Но экономия имеет смысл только при сохранении качества. Поэтому на ЗКЗ были исследованы кольца из сталей 09Г2С, 15Х5М и 12Х18Н10Т. После раскатки и соответствующей термической обработки получена плотная макроструктура, оценённая в первый балл по ГОСТ 10243. Для сталей 09Г2С и 15Х5М установлено зерно 7–8 и 7 баллов соответственно по ГОСТ 5639. Образцы из 12Х18Н10Т показали стойкость к межкристаллитной коррозии.

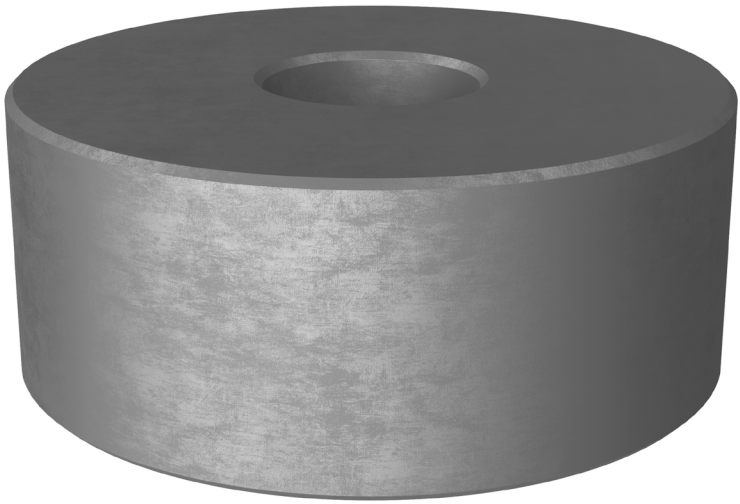


Рис.1. Исходная заготовка ЦЭШЛ

ПОКАЗАТЕЛЬ	ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ	ЦЭШЛ-ТЕХНОЛОГИЯ	РЕЗУЛЬТАТ
Количество операций	7	**3–4**	**–43%**
Количество нагревов	3–4	**1–2**	**–50–67%**
Отклонение толщины стенки	±10–30 мм	**±5–10 мм**	**+30–50% точности**
Потери металла на припуски	20–25%	**5–8%**	**до –18%**
Величина зерна (09Г2С, 15Х5М)	5–6 балл	**7–8 балл**	**+40% мелкозернистости**
Макроструктура	2–3 балл	**1 балл**	**минимум дефектов**
Риск брака при прошивке	3–5%	**< 1%**	**–80% брака**
Коэффициент выхода годного	58–64%	**85%**	**+25%**

Таблица 1. Сравнение технологий

	Группа контроля	Микроструктура, балл	Макроструктура, балл
Сталь 09Г2С	IV, КП 245	7 - 8	1
Сталь 15Х5М	IV	7	1
Сталь 12Х18Н10Т	IVК	5 - 6	1

Таблица 2. Результаты исследований

Эти результаты подтверждают главное: сокращение числа переделов достигается не за счёт снижения требований к металлу. Горячая деформация при раскатке дополнительно способствует рекристаллизации, измельчению структуры и закрытию микропор.

Та же производственная логика относится к поковкам. Электрошлаковый переплав позволяет получать слитки с высокой химической и структурной однородностью, пониженным содержанием вредных примесей и неметаллических включений, с плотной направленной кристаллизацией и качественной поверхностью. Такой слиток является надёжной исходной заготовкой для ковки валов и других ответственных деталей. Кузнечное предприятие получает металл, в котором качество заложено уже на стадии выплавки, а последующая ковка формирует требуемую геометрию и волокнистую структуру изделия.



Рис.1. Слиток ЭШП

Таким образом, наше предложение состоит из двух взаимодополняющих решений. Для производителей раскатных колец — кольцевые заготовки ЦЭШЛ, позволяющие убрать лишние переходы, сократить нагревы и повысить использование металла. Для производителей валов и других поковок — качественные слитки ЭШП, подготовленные для ответственной горячей деформации.

ООО «Завод кольцевых заготовок» в Омске производит раскатные кольца из ЦЭШЛ-заготовок с 2018 года; максимальный наружный диаметр освоенных колец — до 1200 миллиметров. Мы готовы не просто поставить металл, а совместно подобрать марку стали, размеры и состояние заготовки под технологию конкретного заказчика.

Заказывая заготовку ЦЭШЛ в ООО«ЗКЗ», вы сокращаете путь к качественному раскатному кольцу. Приобретая слиток ЭШП, вы получаете надёжную основу для качественного вала или другой ответственной поковки.

Приглашаем обсудить ваши задачи и рассчитать эффект на конкретной детали.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА ВЫТЯЖКУ ДЕТАЛЕЙ С ДВОЙНЫМИ ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ПОЛОСТЯМИ

Гу Цзявэй[1], Евсюков С.А.[2], Майстров Ю.В.[3], Лян Чаоцюнь[4]
1,4 – аспирант кафедры«Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
2 – д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
3 – к.т.н., заведующий лабораторией кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Аннотация

В данной статье в качестве объекта исследования рассматривается деталь из нержавеющей стали с двойными прямоугольными полостями. С помощью программного комплекса Dynaform проведено моделирование и выполнен анализ процесса вытяжки. В работе выявлены и проанализированы основные дефекты, возникающие при формоизменении деталей данной конфигурации. Также рассмотрено влияние технологических параметров на предельную глубину вытяжки изделий с двойными прямоугольными полостями.

Ключевые слова: Вытяжка, прямоугольные полости, нержавеющая сталь, допустимая глубина, Dynaform.

Детали типа кухонных моек весьма разнообразны по своему конструктивному исполнению. Типичный представитель деталей этого класса представлен на рис. 1. Обычно изготавливают их вытяжкой с последующей сваркой из двух половинок. Однако, если глубина полостей не очень большая, то изготовить их можно одновременной вытяжкой обо-

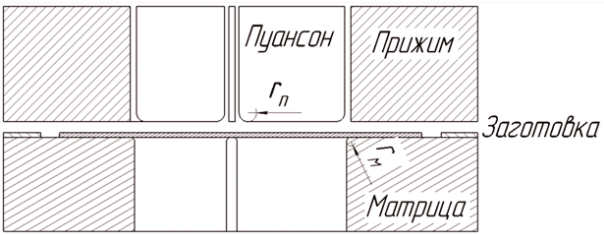
их полостей.



Рис.1. Деталь с двойными прямоугольными полостями

При одновременном формообразовании двух полостей возникает эффект их взаимного влияния, что значительно усложняет процесс деформации и повышает риск локального разрушения или потери устойчивости заготовки [1].

Для исследования влияния основных технологических параметров на процесс формоизменения воспользуемся математическим моделированием с помощью программного комплекса Dynaform. Расчетная схема процесса одновременной вытяжкой обоих полостей представлена на рис. 2.



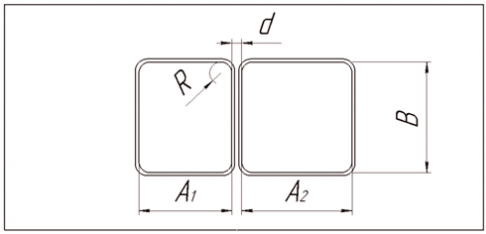


Рис. 2. Схема процесса вытяжки

Моделирование процесса вытяжки

Для создания модели поверхности матрицы использовалось программное обеспечение SOLIDWORKS. Файл модели поверхности матрицы импортируется в программное обеспечение Dynaform. Исходные данные для моделирования представлены в таб. 1.

Таблица 1. Исходные данные.

Материал заготовки	SS304
Толщина заготовки	0,8 мм
Удельное усилие прижима	3MPa
Радиусы скруглений пуансона $r_П$	30 мм
Радиусы скруглений матрицы $r_М$	10 мм
Радиусы закруглений в углах r_c	70 мм
Расстояние между полостями d	40 мм
Ширина B	400 мм
Длина A_1	320 мм
ДлинаA_2	400 мм

Результаты моделирования при ходе пуансона 105 мм представлены на рис. 3. На основе анализа представленных результатов можно сделать следующие выводы. Наибольшее утонение и как следствие разрыв наблюдается в середине вертикальной стенки между полостями со стороны малой полости. А складки в основном сосредоточены на средине фланца, примыкающего к перегородке между полостями.

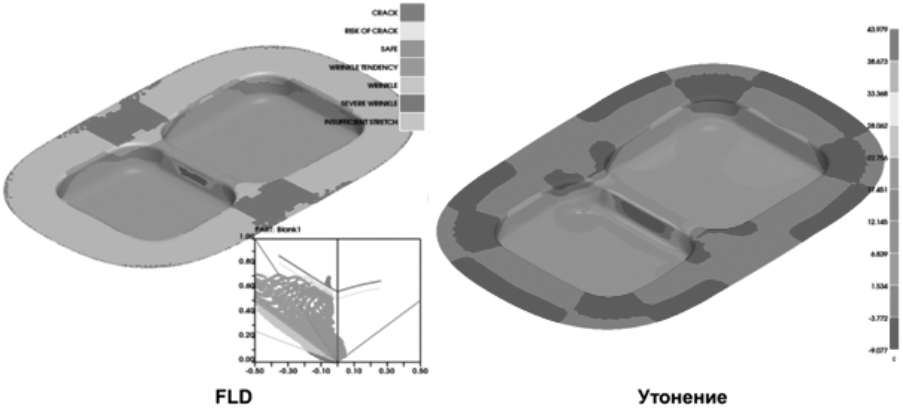


Рис. 3. Утонение и складки в процессе вытяжки

Влияние конструктивных и технологических параметров на процесс вытяжки

Далее было исследовано влияние конструктивных и технологических параметров на допустимую глубину получаемых полостей. Величины изменяемых параметров, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения изменяемых параметров.

μ	0,1	0,125	0,15
R	60 мм	70 мм	80 мм
$r_м$	7 мм	10 мм	13 мм
$r_п$	30 мм	35 мм	40 мм
d	40 мм	50 мм	60 мм

В качестве критерия разрушения принималось утонение стенки в зоне перемычки. При достижении этой величины 30 % от первоначальной толщины заготовки дальнейшее увеличение глубины полости считалось не возможным.

Обработка результатов моделирования позволила получить графические зависимости, представленные на рис. 4. Как следует из приведенных данных, коэффициент трения, радиусы скругления матрицы и пуансона (rМ; rП), а также конструктивные параметры R и d влияют на максимально допустимую глубину полостей вытяжки.

Выводы:

1. Увеличение радиуса закругления прямоугольной полости R облегчают затекание материала в среднюю прямую стенку, тем самым увеличивая максимально допустимую глубину полости вытяжки.

2. С увеличением радиусов скругления матрицы и пуансона (rМ; rП), максимально допустимая глубина полости вытяжки увеличивается, а с увеличением коэффициента трения уменьшается.

3. Увеличение промежутка между полостями d позволяет перенести больше количество материала на среднюю прямую стенку и, таким образом, увеличить максимально допустимую глубину полости вытяжки.

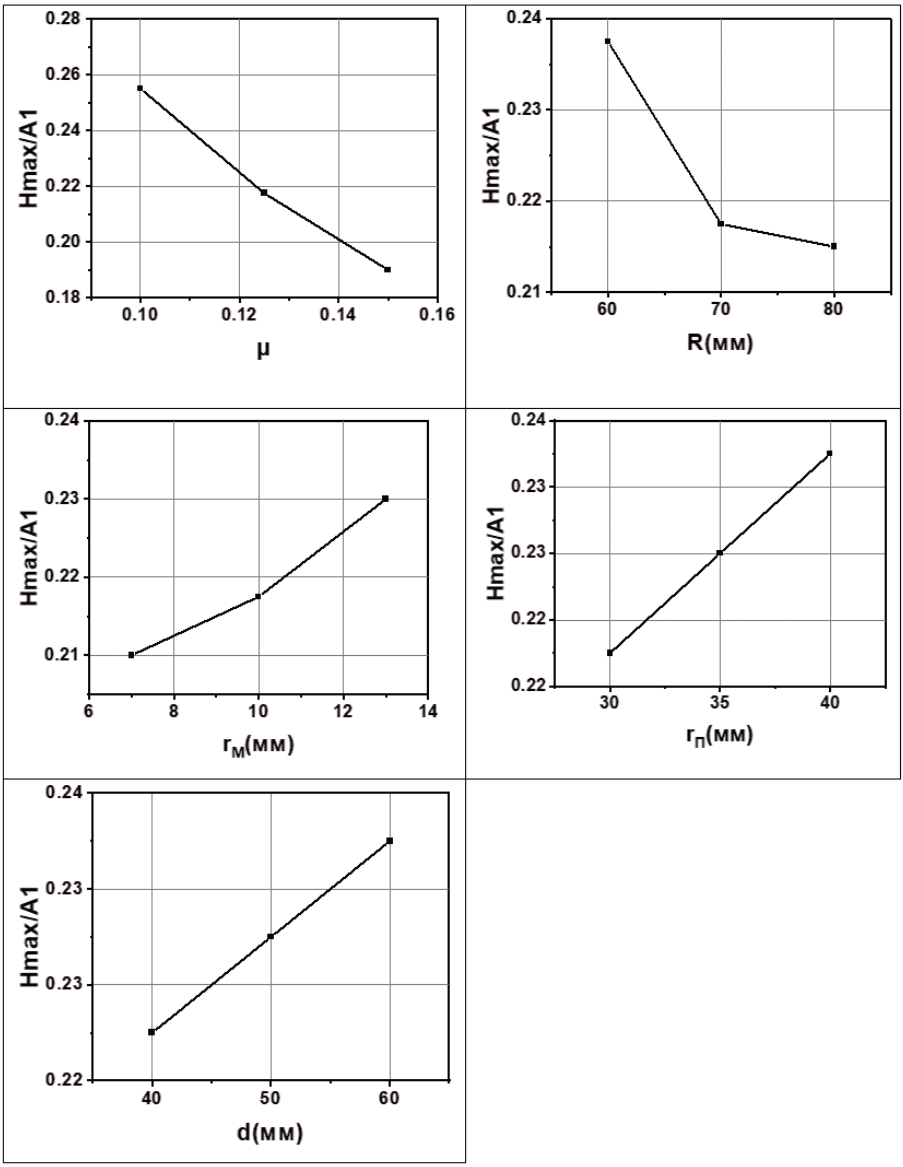


Рис.4. Влияние параметров на максимально допустимую глубину полости

Литература

1. Гу Ц., Евсюков С. А., Артюховская Т. Ю. Исследование вытяжки двойной мойки // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России: Материалы IX Всероссийской научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки и 40-летию АО "Ульяновский НИАТ". Ульяновск. 2024. С. 35-38.

УДК 621.983.3

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ КРЫШКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AUTOFORM

Тараканов А.В, Демин В.А., Евсюков С.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

Аннотация

В статье рассмотрена разработка нового технологического процесса изготовления крышки электродвигателя методом многооперационной листовой штамповки. Выполнены аналитические расчёты технологических параметров вытяжки прямоугольной коробки с фланцем (размеры заготовки, число операций, технологические силы и зазоры между инструментами). Для верификации технологии проведено конечно-элементное моделирование процессов вытяжки и раздачи фланца в программном комплексе Autoform. Исследовано влияние формы исходной заготовки и её ориентации относительно направления прокатки на качество изделия и коэффициент использования материала (КИМ). Показано, что переход от прямоугольной заготовки к овальной с одновременной корректировкой второй операции вытяжки позволяет устранить дефекты разрушения на углах фланца и повысить КИМ с 55 % до 72 %. Определено оптимальное расположение заготовки относительно направления прокатки — 60°.

Ключевые слова: листовая штамповка, вытяжка прямоугольных коробок, раздача фланца, конечно-элементное

моделирование, Autoform, диаграмма предельных деформаций (FLD), коэффициент использования металла, оптимизация заготовки, анизотропия проката, фестоны.

Введение

Обработка металла давлением, в частности листовая штамповка, является одной из ключевых технологий машиностроительного производства, обеспечивающей высокую производительность и стабильность качества выпускаемых деталей [1,2]. Вытяжка коробчатых деталей сложной геометрии с фланцем сопряжена с рядом технологических трудностей: неравномерным распределением деформаций по периметру, риском утонения и разрушения материала на угловых участках, а также образованием фестонов вследствие анизотропии листового проката [3,4,5]. Теоретические основы процессов формоизменения при холодной штамповке детально изложены в классических работах [1,2,6], где рассматриваются вопросы напряжённо-деформированного состояния заготовки, предельных возможностей деформирования и влияния технологических параметров на качество изделия.

Современная методология проектирования технологии листовой штамповки предполагает совмещение классических аналитических расчётов, базирующихся на справочной литературе [3,4], и численного конечно-элементного моделирования. Типовые схемы переходов и компоновки штампов, накопленные в производственной практике, систематизированы в [7]. Использование специализированных программных комплексов, таких как Autoform [8], позволяет на стадии технологической подготовки производства выявлять потенциальные дефекты, оптимизировать форму заготовки и режимы деформирования, что значительно со-

кращает затраты на доводку штамповой оснастки.

Целью настоящей работы является разработка и оптимизация технологического процесса изготовления крышки электродвигателя методом листовой штамповки на основе сочетания аналитических расчётов и численного моделирования. Для достижения цели поставлены следующие задачи: выполнить расчёт технологических параметров вытяжки прямоугольной коробки; определить число операций и технологические силы; провести моделирование процессов вытяжки и раздачи фланца в Autoform; исследовать влияние формы заготовки на качество изделия и коэффициент использования металла (КИМ); установить оптимальный угол расположения заготовки относительно направления прокатки.

Объект исследования и технологическая схема процесса

Объектом исследования является крышка электродвигателя — деталь коробчатой формы с фланцем, изготавливаемая из листовой стали глубокой вытяжки толщиной s = 2,5 мм. В соответствии с классификацией [3] при соотношении Hp/Bp = 28/35 = 0,8 > 0,7 деталь относится к высоким прямоугольным коробкам.

Предложенный технологический процесс включает следующие операции:

1) вырубка плоской заготовки из полосы и первая вытяжка на высоту 24 мм;
2) вторая вытяжка на высоту 14 мм;
3) раздача фланца;
4) обрезка фланца и пробивка отверстий диаметром 3,2 и 4,5 мм.

Принципиальная новизна предлагаемой технологии

заключается в отказе от традиционных методов изготовления подобных деталей и применении сочетания многооперационной вытяжки с последующей раздачей фланцевой части, что позволяет получить требуемую геометрию изделия за минимальное число переходов.

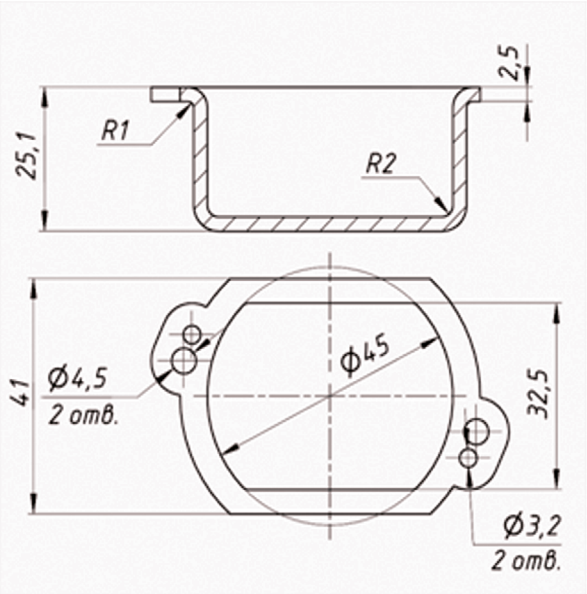


Рис.1. Эскиз исследуемой детали — крышки электродвигателя

Аналитический расчёт технологических параметров

Размеры исходной заготовки

Расчёт исходной плоской заготовки выполнен по методике [3] для вытяжки прямоугольных коробок с переходом

через промежуточную форму овала. Размеры заготовки определены по формулам:

$$Аз = 1{,}27 \cdot \sqrt{Fд} + 0{,}5 \cdot Af; \quad Вз = 1{,}27 \cdot \sqrt{Fд} - 0{,}5 \cdot Af,$$

где $Fд = 5231$ мм² — суммарная площадь поверхности коробки с учётом припуска на обрезку $\Delta Hд = 3$ мм; $Af = 30{,}792$ мм — фокусное расстояние эллипса с осями, равными осям овала. Подставив численные значения, получены размеры прямоугольной заготовки: $Аз = 84{,}365$ мм, $Вз = 78{,}546$ мм; радиусы сопряжений $RAз = 41{,}895$ мм, $RBз = 54$ мм (рис. 2).

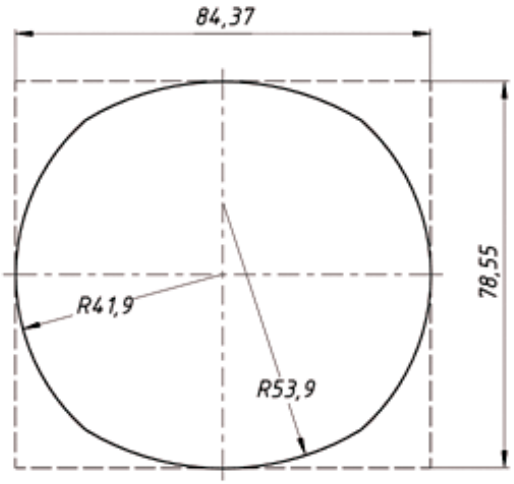


Рис.2. Эскиз исследуемой детали — крышки электродвигателя

Число операций вытяжки

Анализ возможности выполнения вытяжки за одну операцию проводился по двум критериям [3]: $Hp/Rp \le \theta$ и $Hp \le Hp,max = K^1 \cdot Bp$. При коэффициенте $\theta = 10\ldots12$ для весь-

ма пластичных материалов первое условие выполняется ($Hp/Rp = 3,2 < \theta$), однако второе условие не соблюдается: $Hp,max = 0,75 \cdot 35 = 26,25$ мм < 28 мм. По номограмме [3] при параметрах $L/(3,55 \cdot \sqrt{Fд}) = 0,58$ и $s/(1,13 \cdot \sqrt{Fд}) = 0,03$ установлено, что вытяжка должна выполняться за две операции.

Проверка условия применения вытяжки без прижима ($Hp/s \leq 14$, $Hp/Bp < 0,7$, $Rp/s > 1$) показала, что все три критерия выполняются ($Hp/s = 11,2$; $Hp/Bp = 0,69$; $Rp/s = 3,5$), поэтому первая вытяжка проводится без прижима.

Расчёт технологических сил

Технологические силы определены по классическим формулам [2,3,4,]. Сила вырубки заготовки: $Pвыр = L \cdot s \cdot \sigma ср = 260 \cdot 2,5 \cdot 280 = 182$ кН, где $\sigma ср = 280$ МПа — сопротивление срезу. Сила первой вытяжки рассчитана по выражению $P = \sigma в \cdot l \cdot s \cdot Kвт$, где $Kвт = 0,72$ при коэффициенте вытяжки $m = 0,64$. Получено значение $P^1 = 95,5$ кН; для сравнения, в программном комплексе Autoform получено численное значение 89 кН, что свидетельствует об удовлетворительной сходимости аналитического и численного решений (расхождение менее 7 %).

Сила второй вытяжки при $m = 0,72$ и $Kвт = 0,55$: $P^2 = 58,2$ кН. Сила раздачи фланца, рассчитанная по формуле $P = 1,1 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma в \cdot (d^1 - d^o)$ при $d^1 = 74$ мм и $d^o = 45$ мм, составила 79 кН. Сила обрезки фланца — $Pобр = 127$ кН. На основании максимального из полученных значений с учётом коэффициента запаса, в соответствии с рекомендациями [9], выбран однокривошипный пресс простого действия с регулировкой хода модели К04.К2130 номинальным усилием 1000 кН.

Расчёт зазоров между инструментами

Односторонний зазор z для операций вытяжки определён по выражению $z = s + \delta + a$, где $\delta = 0{,}1 \cdot s = 0{,}25$ мм — положительное отклонение допуска на толщину; $a = 0{,}25$ мм — табличная прибавка [4]. Получено значение $z = 3{,}0$ мм, обеспечивающее нормальное протекание процесса деформирования без задиров и разрывов.

Конечно-элементное моделирование процесса

Численное моделирование операций вытяжки, раздачи фланца и обрезки проведено в программном комплексе Autoform [8] — специализированной системе, предназначенной для анализа процессов листовой штамповки методом конечных элементов. Целью моделирования являлась проверка работоспособности технологического процесса и выявление потенциальных дефектов (утонения, разрушения, образования складок). Анализ результатов проводился по диаграмме предельных деформаций FLD (Forming Limit Diagram) и полю распределения толщины стенок изделия.

Моделирование с заготовкой по расчётной методике
На первом этапе моделирование проводилось с заготовкой, размеры которой были получены по аналитической методике [3]. По результатам анализа диаграммы FLD первая и вторая вытяжки прошли без дефектов с локальным утолщением стенки на краях. Однако при моделировании операции раздачи фланца обнаружен критический недостаток: при последующей обрезке выявлено, что материала недостаточно для формирования фланца требуемой геометрии. Это указывает на необходимость увеличения размеров исходной заготовки.

Моделирование с увеличенной прямоугольной заготовкой

Размеры заготовки были увеличены на 4 мм по каждой стороне. Первая и вторая операции вытяжки прошли без дефектов с увеличенной высотой полуфабриката. Однако моделирование операции раздачи фланца выявило новую проблему — разрушение материала на угловых участках фланцевой части, наблюдаемое визуально на детали (рис.3, а) и подтверждаемое выходом точек на FLD в зону разрушения (рис.3, б).

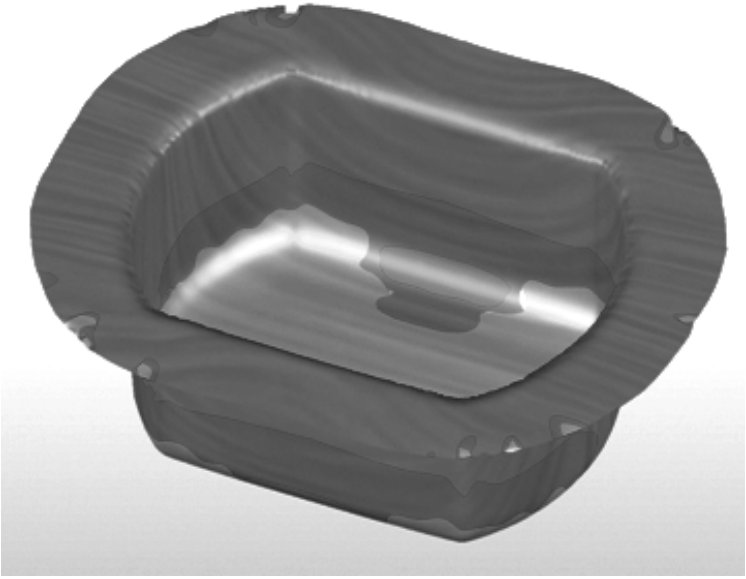


Рис.3, а. Результат моделирования раздачи фланца с увеличенной прямоугольной заготовкой: разрушение материала на углах фланцевой части

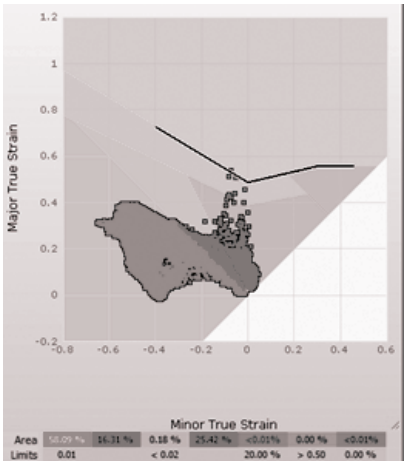


Рис.3, б. Диаграмма предельных деформаций (FLD) для операции раздачи — выход точек в зону разрушения

Для устранения дефектов рассмотрены два варианта корректировки технологии: выполнение раздачи фланца за два перехода или уменьшение хода пуансона на второй операции вытяжки. С позиций технологической экономичности второй вариант предпочтительнее, так как не требует введения дополнительной операции и проектирования дополнительной штамповой оснастки.

Моделирование с модифицированной второй операцией вытяжки

После уменьшения хода пуансона на второй операции вытяжки моделирование показало отсутствие дефектов на всех этапах технологического процесса. Раздача фланца прошла без разрушений (рис.4, а), все точки FLD расположены в безопасной зоне (рис.4, б), материала достаточно для последующей обрезки.

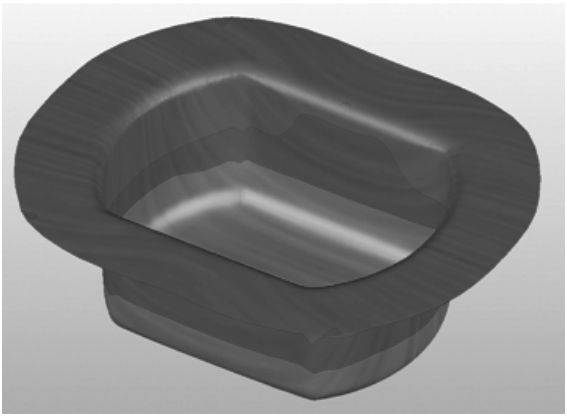


Рис.4, а. Результат моделирования раздачи фланца после корректировки второй операции вытяжки — дефекты устранены

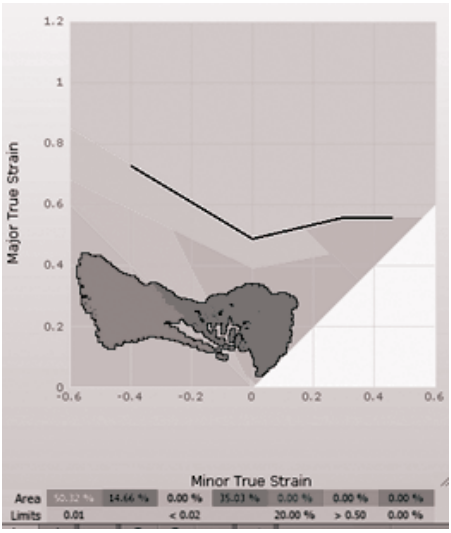


Рис.4, б. Диаграмма предельных деформаций для скорректированного процесса — все точки в безопасной зоне

Расчёт коэффициента использования металла (КИМ) при прямо-угольной заготовке выполнен по формуле:
КИМ = (2•Sз / Sл)•100 % = (2•6440 / 22563)•100 % = 57 %.

Полученное значение КИМ свидетельствует о значительных безвозвратных потерях материала при раскрое полосы прямоугольной заготовкой.

Оптимизация формы заготовки

С целью повышения КИМ предложен переход от прямоугольной формы заготовки к овальной (рис.5), более полно отражающей геометрию первой промежуточной формы полуфабриката после вытяжки. Расчёт коэффициента использования металла для овальной заготовки:

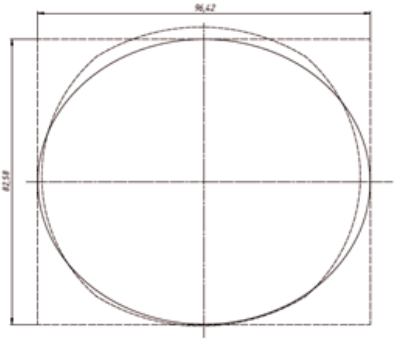


Рис.5. Эскиз оптимизированной заготовки овальной формы

КИМ = (2•6132 / 16843)•100 % = 72 %

Таким образом, переход на овальную заготовку обеспечивает повышение КИМ с 57 % до 72 %.

Моделирование технологического процесса с овальной заготовкой подтвердило отсутствие дефектов на всех

операциях: первая и вторая вытяжки протекают с умеренным утолщением стенок по краям, раздача фланца проходит без разрушений, после обрезки геометрия фланцевой части соответствует требованиям чертежа. Поле распределения толщины (рис.6) показывает, что минимальная толщина в зоне углов донышка составила 1,7 мм, а толщина фланца — около 2,8 мм, что в совокупности удовлетворяет требованиям чертежа.

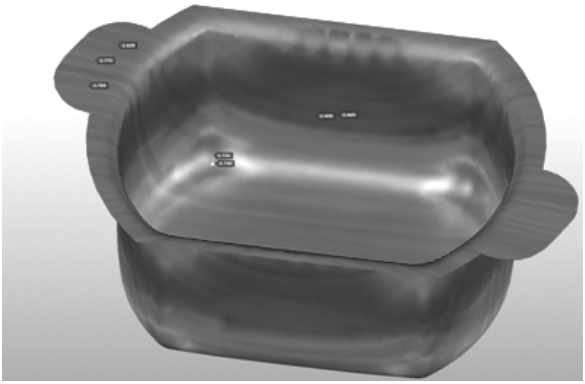


Рис.6. Поле распределения толщины стенок изделия после всех операций с овальной заготовкой

Оптимизация ориентации заготовки относительно направления прокатки

Известно, что листовой прокат обладает плоскостной анизотропией механических свойств, что при вытяжке проявляется в виде фестонов — неравномерности высоты стенок по периметру изделия. Для определения оптимального положения заготовки относительно направления прокатки проведено параметрическое исследование с углами поворота заготовки 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° и 90°.

Анализ результатов моделирования показал, что наилучшее распределение материала достигается при угле ориентации заготовки 60° относительно направления прокатки. При данной ориентации фестоны располагаются симметрично под «ушками» детали, что обеспечивает максимальную равномерность высоты стенок и минимизирует обрезной припуск по фланцу. Сравнение двух характерных вариантов представлено на рис.7: при ориентации 0° (рис.7, а) фестоны расположены несимметрично относительно «ушек», тогда как при 60° (рис.7, б) фестоны идеально совмещаются с фланцевыми выступами.

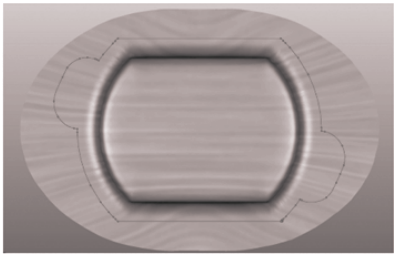


Рис.7, а. Распределение фестонов при ориентации заготовки 0° относительно направления прокатки

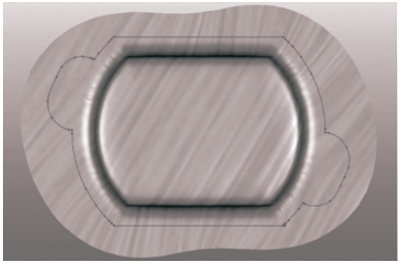


Рис.7, б. Распределение фестонов при оптимальной ориентации заготовки 60° относительно направления прокатки

Заключение

В работе разработан и оптимизирован технологический процесс изготовления крышки электродвигателя методом листовой штамповки на основе сочетания аналитических расчётов и численного моделирования в программном комплексе Autoform. Совместное применение аналитических методик [3,4] и численного моделирования позволило не только верифицировать корректность исходной технологической схемы, но и последовательно выявить и устранить три типа технологических проблем: недостаток материала для формирования фланца, разрушение материала на углах фланцевой части при раздаче и низкий коэффициент использования металла. При этом моделирование выявило эффекты, не обнаруживаемые классическими расчётами: локальное утолщение стенок, разрушение на углах фланца при раздаче, а также влияние ориентации заготовки на распределение фестонов.

Сформулированы следующие основные результаты:

1. Выполнены аналитические расчёты технологических параметров вытяжки прямоугольной коробки с фланцем: определены размеры исходной заготовки, число операций вытяжки (две), технологические силы и зазоры между инструментами. По результатам расчётов выбран однокривошипный пресс модели К04.К2130 номинальным усилием 1000 кН.

2. Численное моделирование позволило выявить и устранить дефекты технологии: недостаток материала для фланца устранён увеличением размеров заготовки; разрушение на углах фланца при раздаче — корректировкой хода пуансона на второй операции вытяжки.

3. Переход от прямоугольной заготовки к овальной обеспечил повышение коэффициента использования ме-

талла с 57 % до 72 % (на 15 процентных пунктов, или относительно — на 26 %) при сохранении бездефектности процесса и соответствии готовой детали требованиям чертежа.

4. Параметрическое исследование ориентации заготовки относительно направления прокатки показало, что оптимальным является угол 60°, при котором фестоны располагаются симметрично под «ушками» детали.

5. Удовлетворительная сходимость аналитических и численных значений силы первой вытяжки (95,5 кН против 89 кН, расхождение менее 7 %) подтверждает адекватность используемой расчётной модели, достоверность полученных решений и обоснованность принятых технологических рекомендаций.

Полученные результаты представляют практический интерес для технологической подготовки производства аналогичных деталей: предложенная последовательность переходов (вырубка → вытяжка → вытяжка → раздача → обрезка) в сочетании с овальной формой заготовки и ориентацией её под углом 60° к направлению прокатки может быть рекомендована при проектировании технологии штамповки коробчатых деталей с фланцем. Предложенная методология сочетания классических аналитических методов и современного конечно-элементного анализа может быть распространена на проектирование технологий штамповки других коробчатых деталей сложной геометрии.

Литература

1. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с.

2. Аверкиев А. Ю., Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки. — М.: Машиностроение, 1989. — 304 с.

3. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка / Под ред. Л. И. Рудмана. — М.: Машинострое-

ние, 1988. — 496 с.

4.Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, 1979. — 520 с.

5. Зубцов М. Е. Листовая штамповка. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1980. — 432 с.

6. Колмогоров В. Л. Механика обработки металлов давлением. — М.: Металлургия, 1986. — 688 с.

7. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. — М.: Машиностроение, 1975.

8. AutoForm Engineering GmbH. AutoForm User Manual. — Pfäffikon, Switzerland, 2022.

9. Корсаков В. Д. Справочник мастера по штампам. — М.: Машиностроение, 1972. — 192 с.

УДК 621.771.074

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ШТАМПОВОЧНОЙ ВАЛЬЦОВКИ ПОКОВКИ «ГАЕЧНЫЙ КЛЮЧ»

Рогулин С.А, Сосенушкин Е.Н.
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Рогулин Сергей Александрович, аспирант кафедры СПД. E-mail: serzh.rogulin2013@yandex.ru
Сосенушкин Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. каф. композиционных материалов. E-mail: sen@stankin.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования технологии горячей объемной штамповки (ГОШ) на базе процесса горячей поперечной штамповочной вальцовки (ГПпШВ). Технологическая подготовка включает в себя инженерные расчеты, состоящие из этапов проектирования чертежа поковки с назначением припусков, построения эпюры диаметров и сечений, определения формы и размеров исходной заготовки. Обоснована геометрия калибров двух переходов для предварительного профилирования на ковочных вальцах перед окончательным формоизменением удлиненной в плане поковки гаечного ключа процессом ГПпШВ. Размеры профилированных заготовок корректируются компьютерным моделированием и подтверждаются результатами натурных экспериментов. Исследовано напряженно-деформированное состояние и температурное поле окончательного полуфабриката с помощью программного комплек-

са DEFORM–3D. Проведено компьютерное моделирование процесса ГПпШВ, подтверждающее правильность геометрических и размерных параметров полученной окончательной профилированной заготовки горячей вальцовкой.

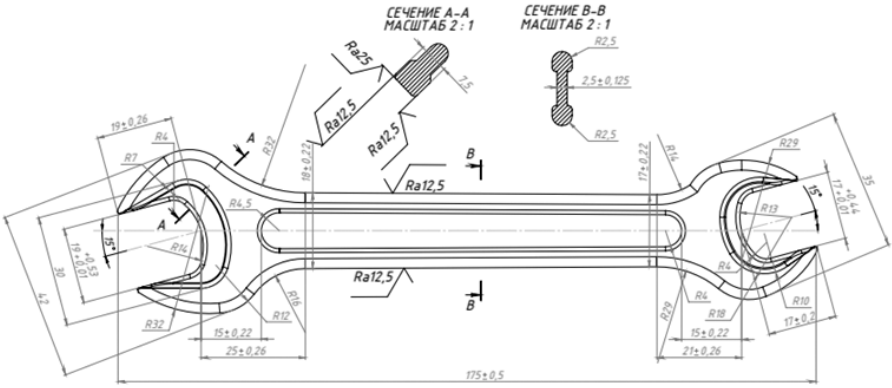
Ключевые слова: профилированная заготовка, полуфабрикат, горячая вальцовка, секторштамп, компьютерное моделирование.

В условиях высокой рыночной конкуренции на производствах с серийным и массовым выпуском продукции при разработке современных технологических процессов с применением ГОШ для снижения конечной себестоимости изделий технологи стремятся к увеличению производительности и коэффициента использования металла (КИМ). Широкое распространение получил процесс предварительного профилирования исходных заготовок на ковочных вальцах, так как известно [1], что горячая вальцовка положительно влияет на ресурсосбережение и увеличение стойкости штампов молота или кривошипного горячештамповочного пресса (КГШП). Однако, кроме реализации заготовительных операций,ковочные вальцы можно использовать и для окончательного формоизменения мелких и средних поковок, исключая применение относительно дорогостоящего оборудования. В частности, рассматривается вариант изготовления полуфабриката на консольных ковочных вальцах для последующего финишного деформирования методом горячей поперечной штамповочной вальцовки (ГПпШВ). В отличие от горячей продольной штамповочной вальцовки (ГПрШВ), где очаг деформации перемещается вдоль оси заготовки, способом поперечной вальцовки можно обеспечить окончательную штамповку поковки как симметричных, так и ассиметричных деталей без искривления их осей.

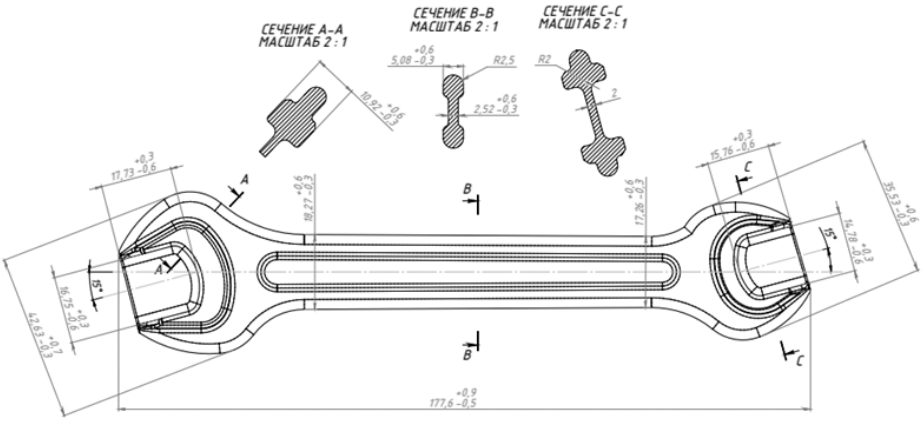
Рожковый двухсторонний гаечный ключ ГОСТ 2839-80 [2] с открытыми зевами 17×19 мм и формой, согласно клас-

сификации [3] относящейся к группе поковок, удлиненных в плане, благодаря своей конфигурации и размерам выбран как объект производства (рис.1, а). В качестве материала используется сталь 40ХФА ГОСТ 4543-2016 [4]. Процесс предварительной вальцовки реализуется на ковочных вальцах открытого типа модели СА1335, два консольных вала которого имеют диаметр Ø180 мм и межосевое расстояние - 320 мм [5].

Этап проектирования поковки и профилированных заготовок реализуется по рекомендациям ГОСТ 7505-89 [6] и методике [7] соответственно. Разработка окончательного ручья вставки рабочего валка консольных ковочных вальцов осуществляется по чертежу поковки в горячем состоянии (рис.1, б), размеры которой определены с учетом температурного расширения.



а).



б).

Рис.1. Чертеж детали-представителя (а) и поковка гаечного ключа в горячем состоянии (б)

Используя технические материалы [3, 7, 8], а также исходные и расчетные данные составляется таблица 1, по которой разрабатывается эпюра диаметров и сечений (рис. 2, а).

Таблица 1. Расчет эпюры диаметров и сечений

№ сечения	$F_п$	$F_о$	$F_{по} = F_э$	$d_э$	$h_э$	М
	мм^2			мм	мм	
4	319,53	22,5	364,5	21,6	36,5	
5	148,84	22,5	193,8	15,8	20	
6	69,1	22,5	114	12,1	12	
7	101,98	22,5	147	13,7	15	10
8	173,86	22,5	218,9	16,8	22	
9	280,08	22,5	325	20,4	33	
10	203,05	22,5	248	17,8	25	
11	130,5	22,5	176	15	18	

Для обеспечения точности позиционирования заготовки и ее проворачивания в клещах манипулятора по ГОСТ 2591-2006 выбран в качестве исходной заготовки пруток квадратного сечения с расчетными размерами: сторона квадрата 19 мм; длина 91 мм. Ключевое значение в процессе разработки технологии ГПпШВ уделяется параметру толщины поковки, от которого в наибольшей степени зависит опережение металла, влияющее на качество продукции и ресурсосбережение, а также на возможность захвата полуфабриката деформирующим инструментом. Исходя из этого, толщина головок окончательной профилированной заготовки максимально приближается к размеру готовой поковки. Ширина заготовки не менее значима: при анализе разработанного чертежа поковки и эпюры диаметров и сечений выявлена небольшая разница в объемах большой и малой головок, которой можно пренебречь и достичь равного параметра ширины при условии одинаковой толщины. Так можно обеспечить одновременный момент внедрения ручьевой вставки в материал заготовки, тем самым, увеличив вероятность захвата и сведя к минимуму риск искривления полуфабриката.

Компьютерное моделирование в DEFORM–3D при постановке исходных данных [9], позволяет получить визуальное представление об изменяемости формы заготовки в процессе горячей вальцовки, а также вывести графики силы от времени вальцовки (рис. 3).

Окончательная профилированная заготовка имеет малое искривление оси, что является важным для процесса ГПпШВ, а ее размеры соответствуют расчетным данным. О равномерном протекании процесса свидетельствуют близкие значения силовых показателей графиков. Возрастание силы происходит с увеличением пятна контакта между секторами-штампами и заготовкой. Этим же можно объяснить

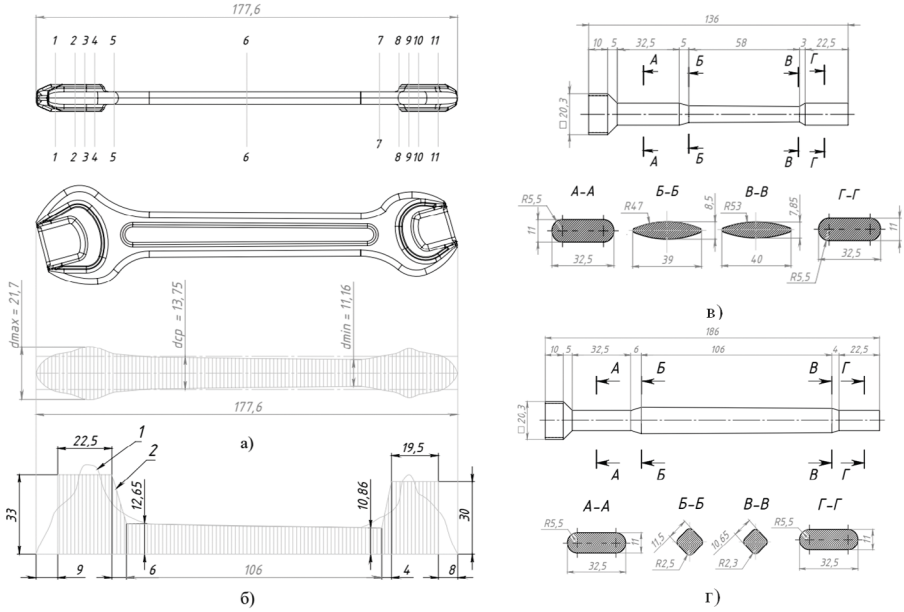
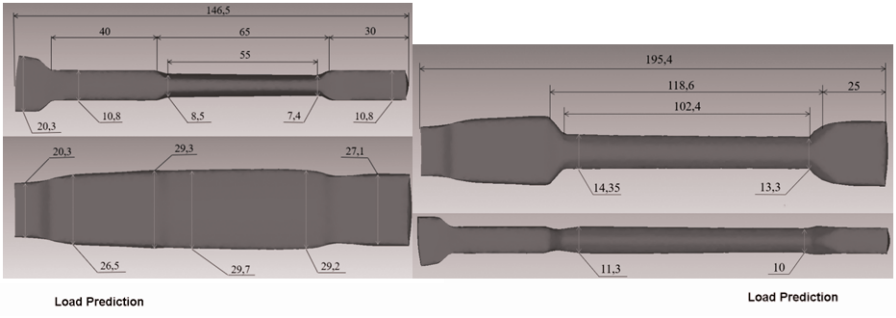
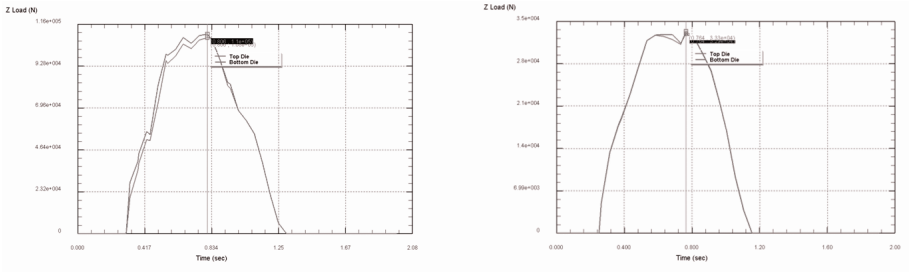


Рис.2. Эпюра диаметров и сечений: а – поковка гаечного ключа и эпюра диаметров; б – эпюра поперечных сечений (1 – поковки, 2 – вальцованной заготовки). Форма и размеры заготовки после вальцовки в секторах-штампах переменного сечения: в – в плоскоовальном ручье; г – в квадратном ручье





а). б).

Рис.3. Форма, размеры и силовые параметры при предварительном формоизменении заготовки горячей вальцовкой: а – в плоскоовальном калибре; б – в квадратном калибре

значительную разницу между пиковыми показателями, равными 110 кН и 33,3 кН на первом и втором переходе соответственно. Графики также позволяют определить время цикла вальцовки, начинающегося с момента внедрения деформирующего инструмента в заготовку и заканчивая выходом из нее – на первом переходе равно 1 с.; на втором – 0,9 с.

Произведена оценка НДС металла полуфабрикатов с помощью построения графиков интенсивности напряжений и интенсивности деформаций в изменяемом во времени локальном очаге воздействия секторов-штампов на заготовку (рис. 4) [10, 11]. Для этого профилированные заготовки двух переходов в процессе вальцовки в зоне деформирования сегментами на каждом отрезке времени делятся на сечения, где задаются контрольные точки (рис.4, а). Траектории контрольных точек на графиках соответствуют изменению исследуемого параметра за цикл обработки горячей вальцовкой.

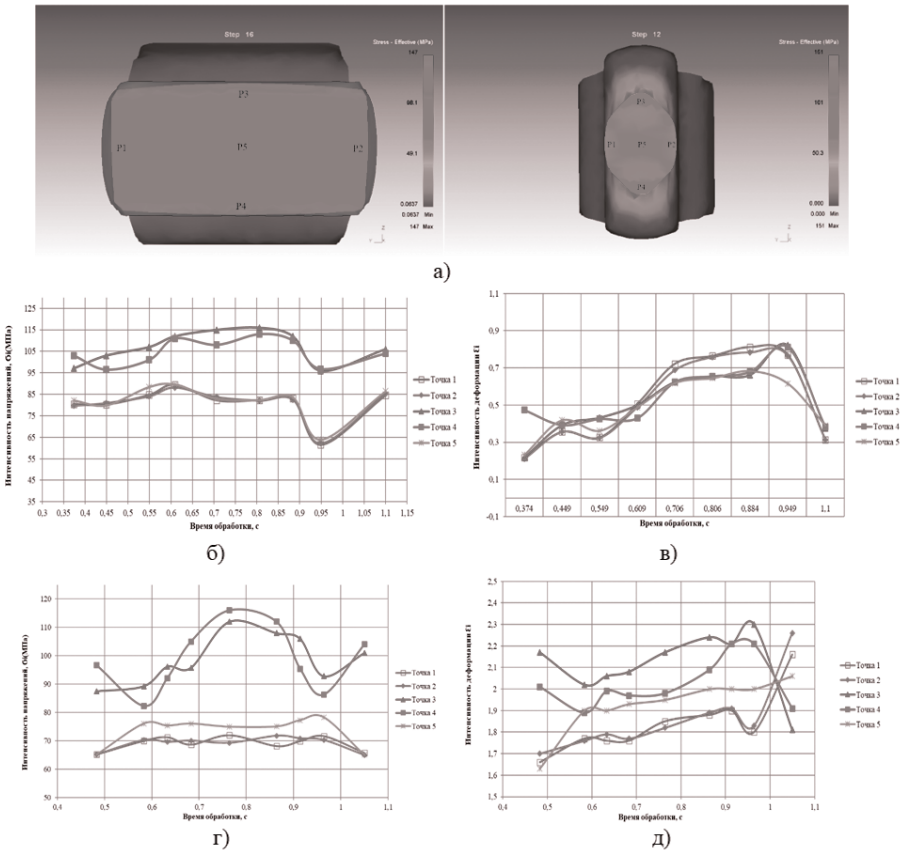


Рис.4. Контрольные точки в сечении очага деформации профилируемой заготовки и графики изменения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций в сечениях вальцуемой заготовки в изменяемом во времени локальном очаге формоизменения секторами-штампами: а – плоскоовальный ручей; б – квадратный ручей

Оценка графиков позволяет установить, что уровень интенсивности напряжений в зонах контакта секторов-штампов с заготовкой (точки 3 и 4) заметно выше, чем в областях,

свободных от контакта с секторами-штампами (точки 1 и 2) и центральной части (точка 5). Близость значений в точках 3 и 4 свидетельствует о равномерности процесса горячей вальцовки, незначительном искривлении оси заготовки, а также о невысокой степени обжатия ее в ручьях секторов (см. рис. 4, б, г). Пиковые напряжения фиксируются на среднем этапе вальцовки: на первом и втором переходах они достигают 117 МПа.

Значения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций непрерывно изменяются на всём цикле двух этапов горячей вальцовки. Кроме этого, наблюдаются участки, когда меняется форма и размеры профилированной заготовки, однако из за небольшого различия геометрии сечений плоскоовального калибра колебания показателей между переходами оказываются незначительными в отличие от второго пропуска.

Значения интенсивности деформаций при вальцовке в плоскоовальном калибре существенно уступают аналогичным показателям в квадратном калибре (см. рис. 4, в, д). Максимум достигается на переходной зоне от полотна к малой головке (точки 3 и 4): в плоскоовальном калибре значения равны 0,83, тогда как в квадратном — 2,32. На среднем этапе наблюдается постепенный рост показателей, что объясняется уменьшением объёма металла в сечениях полотна.

Температурное поле окончательной профилированной заготовки находится в пределах ковочных температур, что говорит о возможности изготовления поковок гаечных ключей с одного нагрева (рис. 5).

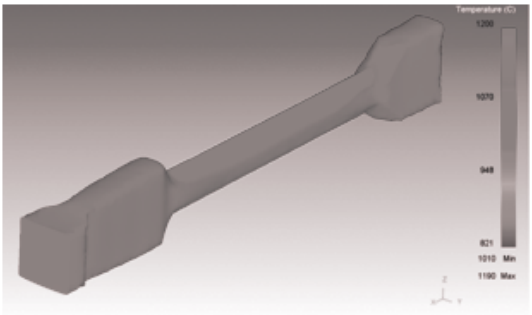
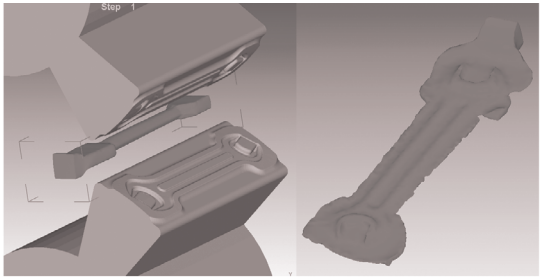


Рис.5. Температурное поле окончательной профилированной заготовки после горячей вальцовки в секторах-штампах в ручьях переменного сечения

Для подтверждения корректности геометрических и размерных характеристик полученного полуфабриката проведено компьютерное моделирование процесса ГППшВ (рис. 6). Заготовка позиционируется параллельно валам на равноудалённом расстоянии от их осей и с небольшим отведением в сторону захода ручьевых вставок (вправо) для обеспечения наилучших условий обжатия (рис. 6, а).

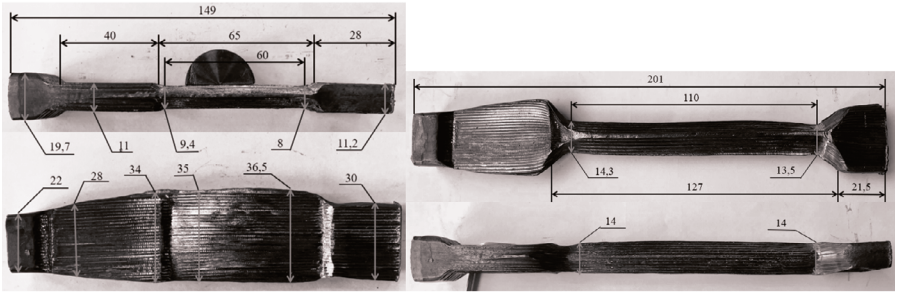


а) б)

Рис.6. Моделирование ГППшВ: а – исходная постановка моделей рабочих валков и профилированной заготовки; б – внешний вид поковки гаечного ключа после операции

Полученная поковка рожкового гаечного ключа характеризуется заполненностью всех участков, что говорит о достаточности объема металла в областях полуфабриката (рис. 6, б). При этом нет необходимости в дополнительной правке, так как отсутствует искривление оси.

Геометрия и размерные значения полуфабрикатов двух переходов по итогам физического моделирования вальцовки свинцовых заготовок, проведенного в лаборатории «Цифровые технологии машиностроения» «МГТУ «СТАНКИН», отличаются минимальными отклонениями от результатов компьютерного моделирования, что говорит о высокой степени пригодности окончательной профилированной заготовки для штамповочной вальцовки гаечного ключа (рис. 7).



а). б).

Рис.7. Форма и размеры полуфабрикатов после горячей вальцовки по системе «квадрат – плоский овал – квадрат» по результатам физического моделирования: а – первый переход (плоскоовальный калибр); б – второй переход (квадратный калибр)

Вывод

Исследование процесса горячей поперечной штамповочной вальцовки показало возможность изготовления удлиненной в плане поковки гаечного ключа по выбранной системе калибров предварительного профилирования и обеспечить качественное заполнение ручья вставки без возникновения критичных дефектов в металле при однократном нагреве, сохраняя на высоком уровне механические и эксплуатационные характеристики.

Литература

1. Смирнов, В. К. Горячая вальцовка заготовок / В. К. Смирнов, К. И. Литвинов, С. В. Харитонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 150 с.: ил.

2. ГОСТ 2839–80. Ключи гаечные с открытым зевом двусторонние. Конструкция и размеры. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 12 с.

3. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. 2е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е. И. Семенова. М.: Машиностроение, 2010. 720 с.

4. ГОСТ 4543-2016. Металлопродукция из конструкционной и легированной стали. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. – 50 с.

5. ГОСТ 16434-87. Вальцы ковочные консольные. Параметры и размеры. М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.

6. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 53 с.

7. Атрошенко, А. П. Технология горячей вальцовки / А. П. Атрошенко. – изд-во «Машиностроение», 1969. – 176 с.

8. Покрас, И. Б. Совершенствование процесса разра-

ботки технологии вальцовки с использованием метода эквивалентной полосы / И. Б. Покрас Э. Р. Ахмедзянов, А. С. Житников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1(21). – С. 91-97.

9. Сосенушкин, Е. Н. Моделирование процесса вальцовки профилированной заготовки под штамповку поковки гаечного ключа / Е. Н. Сосенушкин, С. А. Рогулин, Д. С. Гусев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 12. – С. 36-42.

10. Рогулин, С. А. Рационализация вальцовки моделированием параметров заготовки под штамповку поковки детали «Гаечный ключ» как способ ресурсосбережения / С. А. Рогулин, Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 1(123). – С. 147-154. – DOI 10.37313/1990-5378-2025-27-1-147-154.

11. Рогулин, С. А. Технология профилирования заготовки на ковочных вальцах для снижения расхода металла и анализ его напряженно-деформированного состояния / С. А. Рогулин, Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская // Черные металлы. – 2025. – № 8. – С. 46-53. – DOI 10.17580/chm.2025.08.06.

УДК 621.974.063

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ШТАМПОВОЧНЫХ БЕСШАБОТНЫХ МОЛОТОВ

Сосенушкин Е.Н.
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Памяти талантливого инженера и ученого, д.т.н., профессора Юрия Васильевича Колотова посвящается

Аннотация

В современном машиностроении широкое распространение в отраслях оборонно-промышленного комплекса, атоммаша, авиакосмической промышленности получили высокопрочные, труднодеформируемые материалы. Для увеличения пластичности штампуемого материала рекомендуют повышать скорость удара на штамповочных молотах до 8 м/с. Возникающий при скоростном ударе тепловой эффект снижает сопротивление материала деформированию. В то же время, высокие скорости удара увеличивают напряжения в материале бабы и шабота, особенно в конструкции крепления штампа с помощью ласточкина хвоста. Причиной этого является наличие концентраторов напряжений в конструкциях пазов для крепления половин штампов. Поэтому необходимо совершенствовать конструкции ударных масс и конструктивные схемы самих молотов.
Ключевые слова: ударные массы, гидравлическая связь, бесшаботные молота.

NEW DESIGN SOLUTIONS FOR ANVIL-FREE STAMPING HAMMERS

E.N. Sosenushkin
MSTU STANKIN

Abstract. In modern mechanical engineering, high-strength, hard-to-deform materials are widely used in the defense industry, nuclear power engineering, and aerospace industries. To increase the ductility of the stamped material, it is recommended to increase the impact speed of stamping hammers to 8 m/s. The thermal effect generated by high-speed impacts reduces the material's resistance to deformation. At the same time, high impact speeds increase stress in the ram and anvil material, especially in dovetail die mounting designs. This is due to the presence of stress concentrators in the grooves for attaching the die halves. Therefore, it is necessary to improve the design of the striking masses and the structural layout of the hammers themselves.

Keywords: striking masses, hydraulic connection, anvilless hammers.

Высокоскоростные молота обладают скоростью удара 20 м/с, поэтому взамен клинового соединения применяют крепление штампа к ударной массе (УМ) посредством коротких шпилек. В процессе работы оборудования их резьбовые соединения часто ослабевают и требуют постоянного контроля затяжки гаек [1]. На вертикальных бесшаботных молотах мод. МШ, разработанных в Конструкторско-технологическом филиале института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), применены сборные по конструкции ударные массы, в которых подштамповая плита и баба соединены между собой длинными шпильками. Принцип действия молотов основан на встречном движении двух ударных масс. В условиях опытно-промышленной эксплуатации работают молоты мод. МШ с номинальной эффективной энергией 4; 6,3; 100;

250 кДж. Скорость удара достигает на некоторых моделях 15 м/с. Ударная масса, примененная в их конструкциях и представленная на рис.1 а [2], выполнена сборной,состоящей из подштамповой плиты и бабы (самой массивной части УМ), соединенных между собой длинными шпильками.

В подштамповой плите предусмотрено крепление штампа. Вследствие высоких динамических нагрузок и контактных давлений в материале плиты ее можно изготовить из высокопрочного материала с термообработкой, сменной под любое крепление штампа. Объем материала и напряжения в шпильках, соединяющих между собой подштамповую плиту и бабу, назначали из условия гашения ими энергии отражения частей ударной массы друг от друга в процессе удара.

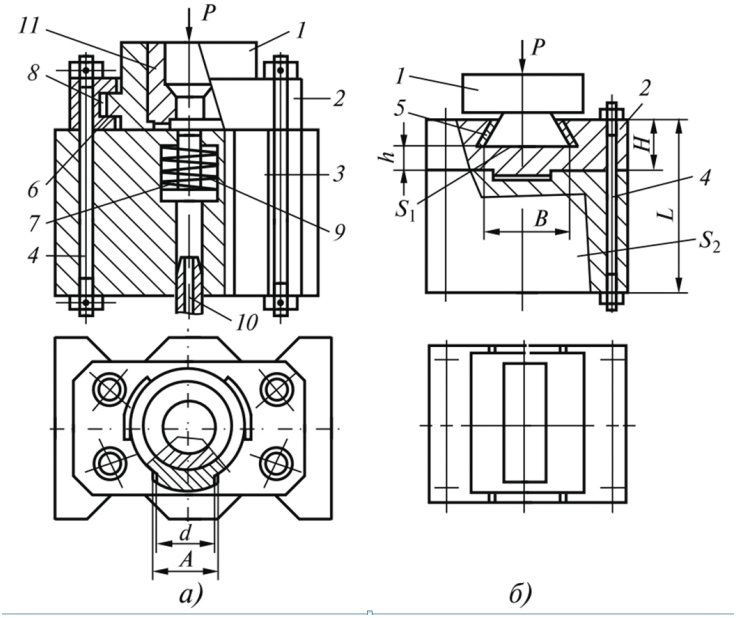


Рис. 1. Конструкции ударных масс:

а, б — крепление штампа байонетом и клином соответственно; 1 — штамп; 2 — подштамповая плита; 3 — баба; 4 — шпилька; 5 — хвостовик; 6 — выступ байонета; 7 — пружина; 8 — паз; 9 — выталкиватель; 10 — трубопровод для подачи жидкости под давлением в выталкиватель; 11 — матрица; H — толщина подштамповой плиты; h — толщина плиты под пазом; L — высота ударной массы; B — ширина паза; P — сила деформирования; S1, S2 — площади основания хвостовика штампа (бойка) и поперечного сечения бабы

Сквозные отверстия в УМ под шпильки выполняли в направлении удара, благодаря чему, вследствие неизменяющейся площади поперечного сечения плиты и бабы, они не являются концентраторами напряжений от ударных волн при ударе. Гайки на концах шпилек 4 затягивали с расчетной силой и контрили. Байонетное крепление штампа 1 (рис.1, а), выполненное в подштамповой плите 2, имеет кольцевой паз 8 с вырезами под выступы 6, сделанные на цилиндрической обойме штампа 1. Оно позволяет осуществить быструю смену штампа. Выступы 6 по ширине d меньше ширины А прорези кольцевого паза. Штамп 1 устанавливают на подштамповую плиту 2 так, чтобы выступы 6 на обойме штампа 1 вошли в прорези пазов в плите 2. Затем штамп 1 поворачивают специальным ключом в кольцевом пазу подштамповой плиты на такой угол, при котором выступы 6 на обойме полностью войдут в кольцевой паз 8 плиты 2. При этом верхние поверхности паза будут препятствовать вертикальному перемещению обоймы. Паз и выступы выполняют по винтовой линии, благодаря чему при повороте штампа происходит затяжка соединения, в котором подштамповая плита 2 является гайкой, а роль болта играет штамп 1. При сборке штампа в байонете плита 2 и баба 3 должны иметь

плотный контакт по всей поверхности их касания. Расчетную силу затяжки шпилек 4 обеспечивают динамометрическим ключом. При ударе сила деформирования прижимает штамп 1 к подштамповой плите 2, препятствуя тем самым ее перемещению при ударе по инерции. Для снятия штампа 1 с молота поворачивают его на угол, при котором выступы 6 попадут в вырезы в подштамповой плите 2. Далее штамп 1 поднимают вверх и выносят из штампового пространства. На место прежнего штампа 1 ставят другой штамп и также поворотом обоймы закрепляют его в подштамповой плите 2. На рис.1, б показано крепление штампа 1 к подштамповой плите 2 с помощью хвостовика 5. Подштамповая плита 1 крепится к бабе 3 также длинными шпильками 4, пропущенными сквозь УМ, при этом длина шпилек большесуммарной высоты L. Плита 2 имеет толщину h под штампом 1, обеспечивающим жесткость при ударе. Штамп 1 крепится к плите 2 клиньями. При разрушении узла крепления штампа замене подлежит только подштамповая плита 2, что существенно снижает затраты на изготовление ударной массы. Возможна замена подштамповой плиты 2 в зависимости от способа крепления штампа 1.

Перспективным конструктивным решением Ю.В. Колотова [3] является бесшаботный молот (рис.2) с единым пневмогидравлическим аккумулятором 1, содержащим разделенные эластичной мембраной полости 2, 3 с газофазной и жидкофазной рабочими средами соответственно, и с возможностью изменения рабочего давления в жидкофазной полости 3 аккумулятора 1 за счет изменения управляющего давления в его газофазной полости 2.

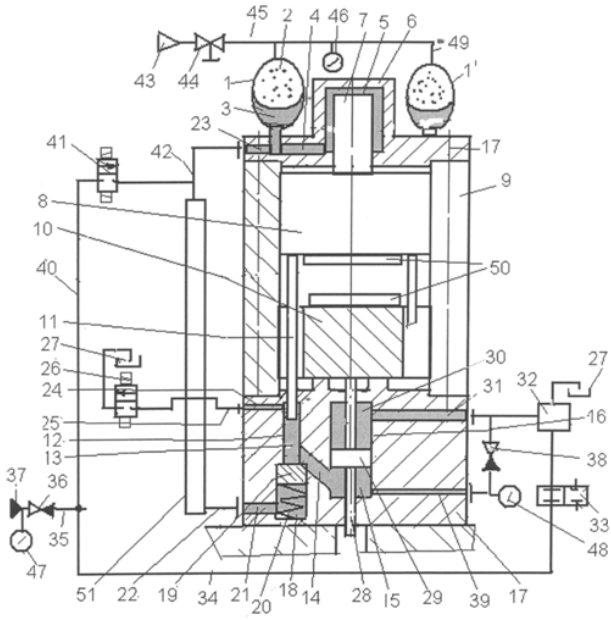


Рис. 2. Схема бесшаботного молота

Жидкофазная полость 3 аккумулятора 1 соединена каналом 4 с полостью 5 рабочего цилиндра 6, оснащенного приводом-плунжером 7. Верхний торец плунжера 7 установлен в рабочем цилиндре 6, а нижний торец оперт в верхнюю бабу 8, установленную в верхней рабочей зоне станины 9 и выполненную с возможностью возвратно-поступательного движения вдоль вертикальной оси станины 9. В станине 9 с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль ее вертикальной оси установлена в нижней рабочей зоне станины 9 нижняя баба 10, которая взаимодействуют с верхней бабой 8 через подвижные элементы гидросвязи, состоящие из двух боковых штоков 11, установленных в вертикальных цилиндрах 12. Их жидкофазные полости

13 соединены каналами 14 с полостью 15 центрального гидравлического цилиндра 16 системы гидросвязи, которые заполнены средством перемещения нижней бабы 10, выполненным в виде жидкофазной среды.

Цилиндры 12 и 16 размещены в корпусе 17 системы гидросвязи, в котором выполнен компенсатор давления, состоящий из полости 18, заполненной рабочей жидкофазной средой, поршня 19 и, установленной под ним пружины 20. Полость 18 соединена каналом 21, трубопроводом 22 и каналом 23 с жидкофазной полостью 3 аккумулятора 1, а каналом 4 - с полостью 5 рабочего цилиндра 6. В исходном положении пружина 20 компенсатора прижимает верхний торец поршня 19 к нижнему торцу цилиндра 12. При этом пружина 20 установлена в полости 18 под поршнем 19 с целью уравновешивания сил, действующих на поршень 19 в исходном положении, а также снижения инерционных сил при разгоне путем уменьшения его массы. Вызвано это тем, что давление жидкости в полости 13 гидросвязи всегда выше, ввиду конструктивных особенностей молота, чем давление жидкости в полости 3 аккумулятора 1 и в полости 4 средств перемещения верхней бабы 8. Полость 13 может быть соединена каналом 24, трубопроводом 25, а также распределителем 26 со сливом 27.

В центральном цилиндре 16 системы гидросвязи установлен шток 28 с выполненным в форму стакана поршнем 29. Поршень-стакан 29 отделяет полость 15 цилиндра 16 от полости 30, образованной над поршнем 29 и соединенной каналом 31 с клапаном 32. В исходном положении полость 30 соединена распределителем 33, трубопроводами 34, 35 через обратный клапан 36 с источником 37 давления, выполненным в виде насосного или насосно-аккумуляторного привода. Для осуществления цикла клапан 32 переключают в положение, при котором полость 30 и канал 31 соединяют

со сливом 27.

Полость 30 соединена также каналом 31 через обратный клапан 38 и канал 39 с полостью 15 для обеспечения заполнения полостей 13, 15, 30, каналов 14, 31, 39 жидкофазной средой в исходном положении молота.

Привод 37 через обратный клапан 36 и трубопровод 40 может быть соединен посредством распределителя 41 трубопровода 42, канала 23 с жидкофазной полостью 3 аккумулятора 1 и полостью 5 рабочего цилиндра 6. Газофазная полость 2 аккумулятора 1 соединена с источником 43 давления через вентиль 44 и трубопровод 45. Величину давления газофазной среды в полости 2 контролируют по манометру 46, а жидкофазной среды: насосного привода 37 - по манометру 47, а в полостях 15 и 30 системы гидросвязи - по манометру 48.

Для повышения надежности работы молота система средств связи и управления перемещением верхней бабы 8 может быть оснащена системой аналогично выполненных пневмогидравлических аккумуляторов 1 и 1′, соединенных между собой трубопроводом 49.

На взаимообращенных плоскостях верхней 8 и нижней 10 баб, установлены штампы 50.

Для обеспечения неразрывности потока жидкости из полости 3 аккумулятора 1 в полость 18, а также для снижения потерь давления рабочей жидкости при ее течении по каналам 21 и 23, и по трубопроводам 22 и 42 при кратковременном смещении вверх под действием пружины 20 поршня 19 при отскоке штоков 11 после удара молота, между трубопроводами 22 и 42 установлен сосуд-ресивер 51.

Принцип работы бесшаботного молота заключается в следующем.

Первоначально заполняют газофазную или пневматическую полость 2 пневмогидравлических аккумуляторов

1 и 1′, для чего полость 2 соединяют с источником 43 давления, открывая вентиль 44 и контролируя величину давления заправки в полости 2 аккумулятора 1 по манометру 46. Затем вентиль 44 закрывают и переключают распределитель 41 в положение, при котором источник 37 высокого давления жидкости соединяется через обратный клапан 36, трубопровод 42, каналы 23, 4 с гидравлическими полостями 3 аккумулятора 1, и полостью 5 рабочего цилиндра 6. Одновременно рабочая жидкость под давлением поступает по трубопроводу 22 и каналу 21 в гидравлическую полость 18 компенсатора и перемещает поршень 19 до упора в торец цилиндра 12.

Далее, распределитель 33 переключают в положение, при котором управляющую полость 30 соединяют с источником 37 давления через обратный клапан 36, трубопроводы 35 и 34, клапан 32 и канал 31. Одновременно соединяют полости 15, 14, 13 системы гидросвязи с источником 37 давления через обратный клапан 38 и канал 39. При этом нижняя баба 10 будет находиться под действием сил тяжести в крайнем нижнем положении, а верхняя баба 8 переместится в крайнее верхнее для удара положение усилием боковых штоков 11, создаваемом давлением жидкофазной среды, воздействующей в полости 13 на их нижний торец. При заполнении системы гидросвязи жидкофазной средой распределитель 26 открыт и соединяет полость 13 через канал 24 со сливом 27. При появлении рабочей жидкости в сливе 27, распределитель 26 закрывают. Молот готов к началу рабочего цикла.

Цикл начинают переключением клапана 32 в положение, при котором управляющая полость 30 соединяется со сливом 27. Давление в полости 30 падает. Шток 28 силой давления жидкости в полостях 13, 15 перемещается поршнем 29 вверх, смещая вверх нижнюю бабу 10. При движе-

нии поршня 29 вверх, давление в полостях 13, 15 гидросвязи уменьшается, что приводит к снижению силы давления жидкофазной среды на боковые штоки 11. Под действием силы давления рабочей жидкости в полости 5 цилиндра 6 на плунжер 7 начинают движение вниз верхняя баба 8 и ее подвижные элементы: плунжер 7 и боковые штоки 11.

С этого момента начинается разгон баб 8 и 10 навстречу друг другу. Он происходит за счет потенциальной энергии рабочего газа, находящегося в полости 2 аккумулятора 1. Газофазная среда в полости 2 увеличивается в объеме, вследствие уменьшения давления в полости 5 при смещении плунжера 7 вниз. При расширении рабочий газ совершает работу, поддерживая давление жидкофазной среды в полости 5 таким, чтобы обеспечить течение рабочей жидкости из полости 3 аккумулятора 1 в полость 5 гидроцилиндра 6 с минимальными потерями давления на сопротивление. В связи с чем, аккумулятор 1 установлен в непосредственной близости к цилиндру 6, а канал 4 выполнен коротким и с минимальным по сопротивлению внутренним проходным сечением. Отсутствие утечек рабочего газа, например воздуха, из полости 2 аккумулятора 1 за цикл обеспечиваются герметичностью закрытого вентиля 44 и эластичной мембраной, герметично разделяющей полости 2 и 3 аккумулятора 1.

Плунжер 7 движется при разгоне в рабочем цилиндре 6, преодолевая силы трения в уплотнительном узле между его наружной цилиндрической поверхностью и стенками цилиндра 6. В данном узле создан режим жидкостного трения, когда между наружным диаметром плунжера 7 и внутренним диаметром уплотнения (не показано) присутствует жидкостная пленка, которая существенно, по сравнению с сухим трением, снижает потери энергии сжатого газа аккумулятора 1 на трение.

При движении плунжера 7, бабы 8 и штоков 11 вниз под действием давления рабочей жидкости на плунжер 7 в полости 5 цилиндра 6 происходит повышение давления рабочей жидкости в полостях 13, 15 системы гидросвязи и замедление движения верхних подвижных частей 7, 8, 11 вниз. Повышение давления в полостях 13, 15 гидросвязи увеличивает силу давления на поршень 29, который перемешает штоком 28 нижнюю бабу 10 вверх, вытесняя при этом жидкость из управляющей полости 30 по каналу 31 через клапан 32 на слив 27. С перемещением поршня 29 вверх снижается давление жидкости в полостях 13, 15 гидросвязи, что уменьшает силу давления жидкости на штоки 11 и замедляет движение нижних подвижных частей 10, 28, 29, жидкости в полостях 13, 14, 15, нижней части штампа 50 вверх и вызывает ускорение движения верхних подвижных частей 11, 8, 7, верхней части штампа 49 вниз. Таким образом, происходит разгон с колебаниями навстречу друг другу верхней 8 и нижней 10 баб с штампами 50.

На некотором пути разгона поршень 29 перемещается выше канала 31, образуя в верхней части цилиндра 16, между его верхним дном и верхней кромкой диаметра канала 31, замкнутую полость, повышение давления жидкости в которой поршнем 29 тормозит его движение вверх. В дальнейшем шток 28 и баба 10 движутся до соударения штампов 50 по инерции.

С момента торможения поршня 29, верхние подвижные части: плунжер 7, верхняя баба 8, штоки 11 движутся вниз под действием силы давления жидкости на плунжер 7, сжимая штоками 11 жидкость в полостях 13, 15. Повышение давления в этих полостях гидросвязи увеличивает силу, с которой рабочая жидкость гидросвязи воздействует на поршень 19 компенсатора давления, смещая его вниз. Происходит сжатие пружины 20 и вытеснение жидкости из

полости 18 по каналам 21, 23 и трубопроводам 22, 42 в полость 3 аккумулятора 1. Увеличение давления жидкости в полостях 13, 15 гидросвязи прижимает боковые штоки 11 к верхней бабе 8 и приводит к потерям энергии верхних подвижных масс и накопление энергии в пружине 20 и аккумуляторе 1 при разгоне.

После соударение штампов 50 и совершения рабочего хода (удара) бабы 8 и 10 отскакивают друг от друга в противоположные стороны. Энергия отражения нижней бабы 10 гасится частично эффектом гидротормоза, образуемого в поршне 28. Непогашенная энергия отражения нижних подвижных масс 10, 28, 29, 50 трансформируется в потенциальную энергию сжатия жидкости гидросвязи.

Верхняя баба 8 отскакивает вверх совместно с плунжером 7, который вытесняет жидкость из полости 4 через канал 23 в аккумулятор 1. Одновременно с ней отскакивают вверх боковые штоки 11 под действием давления жидкости в полости 13 гидросвязи и силы пружины 20. При движении штоков 11 вверх давление в полости 13 падает, но оно сразу увеличивается за счет давления жидкости, вытесняемой поршнем 19 из компенсатора силой пружины 20. Это происходит вследствие быстрого смещения вверх поршня 19 под действием силы сжатия пружины 20.

Мгновенное движение поршня 19 вверх, при внезапном падении давления в полостях 13, 15 гидросвязи, возможно при малой инерционности поршня 19 и достаточной силы пружины 20 и давления жидкости в полости 18. Давление жидкости в полости 18 зависит от сопротивления трубопроводов 43, 22 и каналов 21 и 23. В силу инерционности потоков, из-за потерь давления по каналам 22 и 23, трубопроводам 43 и 22 может возникнуть разрежение жидкости в полости 18, что не обеспечит прижатие штоков 11 к бабе 8 при отскоке. Инерционность поршня 19 зависит от его мас-

сы и сил трения о стенки полости 18. Они должны быть максимально малыми, что можно достигнуть при уменьшении диаметра поршня 19. Их значения учитываются при выборе параметров пружины 20. Для быстрого восполнения давление жидкости в полости 18 при удаленном расположении аккумулятора 1 и полости 18 в конструкции на гидролинии между ними устанавливают сосуд 51 с целью снижения потерь давления при течении жидкости из аккумулятора 1 в полость 18.

На некотором пути отскока верхние подвижные массы 7, 8, 11, 50 останавливаются силой их тяжести и давлением рабочей жидкости в полости 3 аккумулятора 1, создаваемого давлением газа в полости 2 аккумулятора 1. После останова на промежуточной высоте, верхние подвижные массы 7, 8, 11, 50 устремляются вниз, но они не достигнут плоскости соударения, которую имели штампы 50 при рабочем ходе. Повторному соударению штампов 50 будет препятствовать объем жидкости, который был вытеснен при отскоке из компенсатора в систему гидросвязи силой пружины 20 и давлением жидкости в полости 18. При этом уровень жидкости под боковыми штоками 11 будет выше, чем при ударе. Повторное вытеснение рабочей жидкости из гидросвязи в компенсатор таким же образом невозможно, так как энергия отражения верхних подвижных масс 7, 8, 11, 50 после отскока меньше их энергии при разгоне.

Нижняя баба 10, шток 28 и поршень 29 отразятся при отскоке вверх от рабочей жидкости системы гидросвязи под давлением в полостях 15, 30 центрального штока 28. Баба 10 и ее штамповая оснастка 50 не достигнут плоскости повторного соударения из-за недостатка энергии, величина которой меньше энергии нижних подвижных масс 10, 28, 29, 50 из-за ее потерь в гидротормозе поршня 29 при первом отскоке.

Затем закрывают клапан 32 и автоматически соединяют полость 30 через канал 31 и каналы (не показаны), выполненные в клапане, распределитель 33, трубопроводы 34, 35 и клапан 36 с источником давления 37. Под действием давления в полости 30 поршень 29 перемещает вниз шток 28, сжимая жидкость в полостях 13, 15 гидросвязи до давления, под действием которого на торец штоков 11 верхние подвижные массы 11, 8 и 7 перемещаются в крайнее верхнее положение, вытесняя жидкость из полости 4 в полость 3 аккумулятора 1. Нижняя баба 10 перемещается в крайнее нижнее положение под действием сил тяжести при движении вниз штока 28. При достижении бабами 8, 10 исходных для удара положений цикл завершается и молот готов к следующему удару.

Еще одной конструкторской разработкой Ю.В. Колотова является импактор - горизонтальный бесшаботный молот с гидравлической связью масс [4], схема которого представлена на рис.3. Импактор состоит из сборной станины 1, в Х-образных направляющих 2 которой с возможностью возвратно-поступательного перемещения установлены левая 3 баба и правая баба 4. На торцах баб, обращенных друг к другу, установлены рабочие части 5 и 6 штампов.

Бабы 3 и 4 связаны между собой с помощью средства синхронизации, состоящего из боковых штоков 7, левые торцы которых оперты в бабу 3, а правые размещены в боковых цилиндрах 8, заполненных рабочей жидкостью. Полости цилиндров 8 соединены каналами с полостью 9 центрального цилиндра 10, разделенного поршнем 11 центрального штока 12 на полость 9 и управляющую полость 13. Полость 13 может быть соединена, для разведения баб 3 и 4 в исходные положения клапаном 14 с давлением насосного привода или со сливом для совершения встречного движения баб для удара, путем переключения клапана 14.

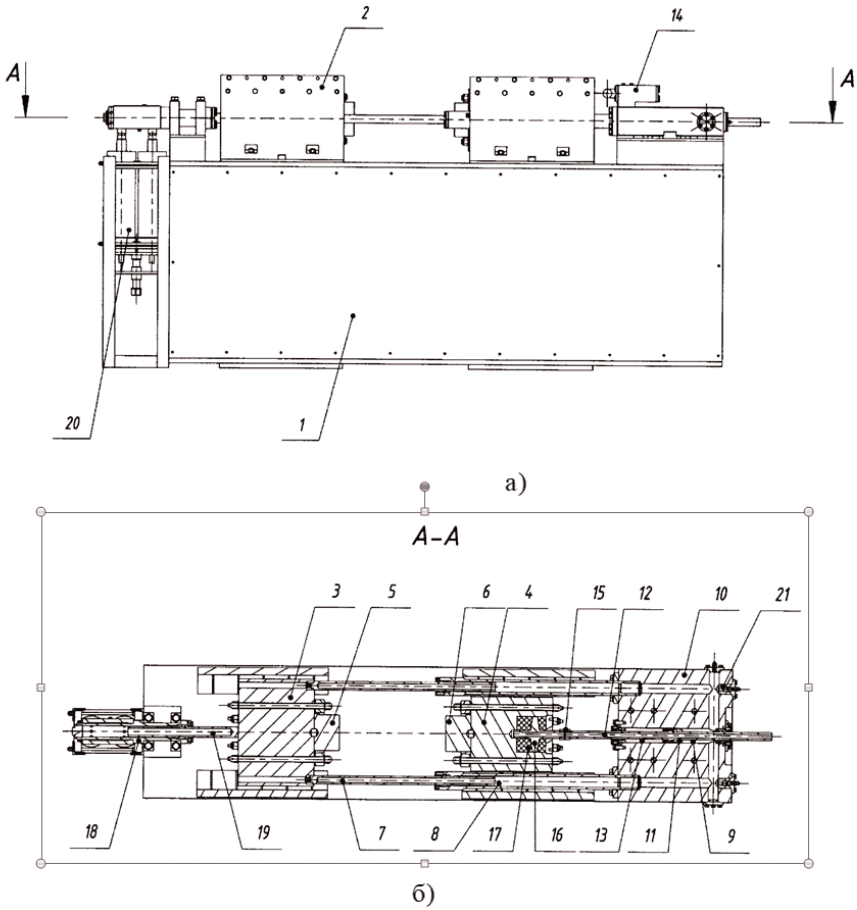


Рис.3. Компоновочная схема импактора - горизонтального бесшаботного молота с гидравлической связью масс

Правая баба 4 соединена со штоком 12 муфтой 15, штоком 16 и упругими элементами 17 для совершения ее возвратного хода в исходное для удара положение.

Горизонтальный бесшаботный молот с гидравличе-

ской связью масс работает следующим образом.

Встречное движение баб 3 и 4 осуществляют пневмогидравлическим приводом, размещенным в рабочем цилиндре 18, оснащенным плунжером 19 и аккумуляторами 20. При открытии клапана 14 происходит перемещение бабы 3 вправо. Ее перемещение передается через гидравлический механизм связи правой бабе 4, которая движется под действием плунжера 19 влево.

До начала рабочего хода осуществляют торможение поршня 11, благодаря которому разъединяется гидравлическая связь между левой и правой бабами. Правая баба 4 движется с этого момента влево совместно с центральным штоком по инерции относительно неподвижного поршня 11. Правая баба движется с момента торможения поршня 11 вправо под действием силы гидропривода 18. Боковые штоки 7 сжимают жидкость гидросвязи, находящейся в замкнутом объеме полостей 8 и 9, силой привода.

Величина повышения давления жидкости в гидросвязи зависит от соотношения площадей поршня компенсатора 21. Она создает силу, которая постоянно прижимает боковые штоки 7 к бабе 3. Повышение давления жидкости в гидросвязи при разгоне снизит незначительно скорость перемещения бабы 3 к началу рабочего хода, но зато исключит повторное несанкционированное соударение штампов после удара.

По завершению рабочего хода, заканчивающегося соударением штампов, произойдет отскок бабы 3 влево и бабы 4 вправо. Одновременно с отражением бабы 3 влево переместятся влево боковые штоки 7, отслеживающие бабы 3 под действием силы давления жидкости в гидросвязи на их торцы, размещенные в боковых цилиндрах 8.

Правая баба 4 отразится совместно со штоком 12 после удара вправо. Благодаря гидравлическому демпферу,

образуемому в центральном узле гидросвязи вследствие перемещения штока 12 относительно неподвижного поршня 11, произойдет частичное гашение энергии отражения бабы 4 при отскоке.

Вследствие снижения давления жидкости в гидросвязи при отскоке, ввиду перемещения штоков 7 влево, произойдет возврат жидкости из компенсаторов 21 в гидросвязь, что приведет к увеличению объема жидкости в полостях 8 и 9, по сравнению с объемом жидкости в них в процессе соударения штампов. Благодаря изменению объема жидкости в гидросвязи и снижению энергии отражения бабы 4 при отскоке, исключается повторное соударение штампов 5 и 6.

Возвратный ход баб 3 и 4 начинается с момента подачи жидкости под давлением в полость 13 цилиндра 10. Для осуществления возвратного хода переключают клапан 14 перед началом рабочего хода, длящегося сотые, а порой и тысячные, доли секунды. Под действием давления жидкости в полостях 13 и 8, поршень 11 перемещает через штоки 16 и 12 бабу 4 вправо. Давление жидкости на торцы штоков 7 перемещает ими бабу 3 влево. При этом часть жидкости из цилиндра 18 гидропривода вытесняется плунжером 19 в пневмогидравлические аккумуляторы 20, давление сжатого воздуха в которых повышается до номинального давления.

При достижении баб 3 и 4 своих исходных для удара положений, молот готов к следующему циклу.

Выводы

1. Сборные конструкции ударных масс бесшаботных штамповочных молотов обеспечивают более длительную эксплуатацию без разрушения.

2. Предложенный бесшаботный молот обеспечивает перемещение движущихся частей молота в условиях жид-

костного трения в уплотнительных узлах со снижением коэффициента и силы трения в уплотнениях в 5 раз и более, что увеличивает срок службы уплотнений и повышает надежность и безопасность работы молота в целом.

3. В конструкции импактора повышение качества регулирования и точности синхронизации встречного горизонтального движения баб в период рабочего хода осуществляется за счет увеличения коэффициента полезного действия средств взаимной синхронизации штоков, для чего средство синхронизации выполнено в виде двух плунжерных гидроцилиндров со штоками, установленными на станине с возможностью взаимодействия с опорной поверхностью бабы одного из рабочих цилиндров.

Литература

1. Ковка и штамповка: справочник. В 4-х. т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. / Под общ. ред. Е.И. Семенова. М.:Машиностроение, 2010. 720 с.

2. Колотов Ю.В. Усовершенствование конструкции ударной массы штамповочного молота/ Ю.В. Колотов, А.Г. Кобелев, Д.С. Чашкин// Заготовительные производства в машиностроении. № 7. 2015. С. 27-31

3. Патент на изобретение № 2553782 Бесшаботный молот. МПКВ21J 7/28 (2006.01)/Ю.В. Колотов. Опубл. 20.06.2015. Бюл. 17.

4. Патент на полезную модель №133439 Горизонтальный бесшаботный молот с гидравлической связью масс. МПК В21J 7/28 (2006.01)/А.Г. Андреев, В.Г. Тюрин, Ю.В. Колотов и др. Опубл. 20.10.2013. Бюл. 29.

УДК 621.771.23

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ2 ПРИ ПРОКАТКЕ С ЧЕРЕДОВАНИЕМ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОХОДОВ

Шаталов Р.Л. [1], д-р техн. наук, проф.ORCID.org. 0000-0002-7993-4169, электронная почта (mmomd@mail.ru);
Бибик П.Ю. [1,2] аспирант, главный метролог, эл. почта: (cyrepka2@gmail.com);
Медведев В.А.[2], к.т.н., инженер, ORCID.org. 0000-0002-0610-6274, электронная почта (10-bmt@mail.ru).

1 ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, 115280, Российская Федерация
2 Богородский филиал АО «НПО «Прибор», г.Ногинск, 142400 Российская Федерация

Аннотация

Представлены экспериментальные данные исследования продольной прокатки и чередования продольных и поперечных проходов листов толщиной 0,7мм из заготовок размером 1,90х40х40 мм из алюминиевого сплава АМг2 на стане 150х235 Московского политехнического университета на формирование размеров, предела текучести $\sigma_{0,2}$, временного сопротивления $\sigma_в$, относительного удлинения δ и сужения поперечного сечения Ψ. В работе установлено, что продольная прокатка и прокатка с разворотом различно влияют на формирование показателей механических свойств листов и анизотропию.

Ключевые слова: лист из сплава АМг2, форма листа, прокатка продольная, прокатка с разворотом, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, сужение поперечного сечения, анизотропия.

Введение

Активное развитие металлургической и машиностроительной отраслей сопровождается увеличением потребности в тонколистовом алюминиевом прокате повышенной однородности для высоконагруженных штампованных деталей [1–3]. В зависимости от назначения применяются продольная прокатка и комбинированная с чередующимися разворотами листов, параметры которой влияют на свойства изделий. [4]

Исследования направлены на улучшение показателей качества проката. Доказано, что прокатка с разворотом снижает анизотропию свойств и улучшает структуру металла. [5] Актуальна разработка новых технологий с чередованием проходов.

На примере предприятия БФ АО «НПО «Прибор» показано, что продольная прокатка сплава АМг2 приводит к нестабильности механических параметров по плоскости листа, снижая выход годных штампованных колпачков. Таким образом, задача определения оптимальных режимов обработки листового проката из АМг2 сохраняет высокую научную и практическую значимость, что и послужило основанием для выполнения данной работы.

Цель работы

Улучшение показателей качества листов из алюминиевого сплава АМг2.

Материалы и методика эксперимента

Экспериментальная часть работы выполнялась на лабораторном прокатном стане 150×235 мм, размещённом на базе кафедры обработки материалов давлением и аддитивных технологий Московского политехнического университета. Исходная толщина образцов составляла 1,90 мм, скорость деформирования составила 0,25 м/с. Для проведения испытаний из листового проката сплава АМг2 ГОСТ 21631-2019 в предварительно отожжённом состоянии были вырезаны заготовки квадратной формы размером 40х40 мм в количестве 6 штук. Прокатка осуществлялась по три образца для каждого из двух исследуемых режимов, различающихся условиями и направлениями деформации. Образцам были присвоены порядковые номера 7 и 8.

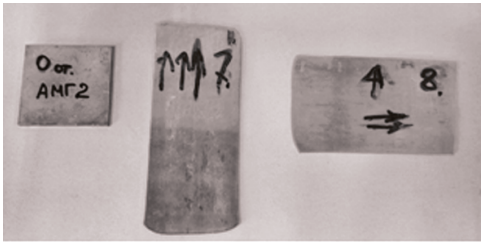


Рис.1. Лист 0 - исходный лист;
листы 7,8 – после трех прокаток.

Прокатка осуществлялась в три последовательных этапа, по завершении которых толщина образцов сокращалась: с 1,5 мм (после первого прохода) до 1,0 мм (после второго) и до 0,7 мм (после третьего). Для каждого последующего прохода направление деформации изменялось на 90° относительно предыдущего с целью уменьшения анизотропии. Конечные результаты представлены в виде сред-

неарифметических величин, рассчитанных по данным многократных замеров.

Равномерное относительное обжатие 20–60% с шагом 20% в каждом проходе обеспечивалось точной настройкой зазора S_0 между валками с применением калиброванных щупов. Значения зазора S_0 были установлены следующим образом: 1,1 мм - при первом проходе, 0,6 мм - при втором и 0,3 мм - при третьем.

Размеры листов определяли цифровым микрометром и штангенциркулем по методикам ГОСТ 6507-90 и ГОСТ 166-89. Для исследования предела текучести $\sigma_{0,2}$,временного сопротивления разрыву $\sigma_в$,относительного удлинения δ, сужения поперечного сечения шейки Ψ отожженных и деформированных алюминиевых листов определяли в соответствии с методикой испытаний металлов ГОСТ 1497−2023 на универсальной разрывной машине INSTRON модели 3382 ГОСТ 43601-10.

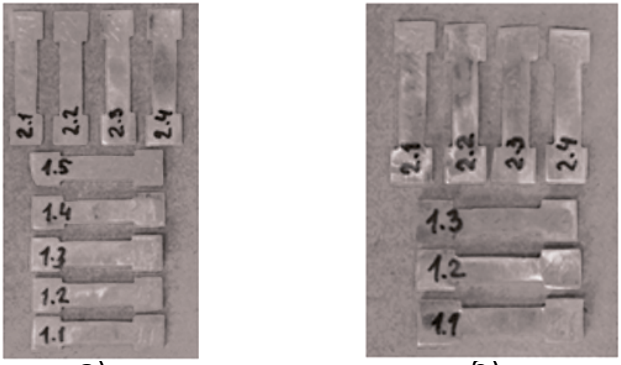
Полученные результаты испытания оценивались в продольном и поперечных направлениях для каждого листа отдельно. Для оценки прочностных и пластических свойств вначале оценивались результаты образцов, разрезанных в продольном направлении, путем нахождения среднего значения, а затем среднее значение для образцов, разрезанных в продольном направлении. Затем находили показатель анизотропии Δ, для каждого параметра, а именно: предел текучести $\sigma_{0,2}$, предел прочности $\sigma_в$, относительное удлинение δ, сужение поперечного сечения, Ψ. Полученные результаты показаны в таблице 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследовали влияние продольной прокатки и че-

редования продольных и поперечных проходов листов из сплава АМг2 на формирование прочностных, пластических свойств и анизотропии, а также на диаграммы растяжения образцов.

На этапе подготовки к механическим испытаниям образцы, вырезанные из исходных и прокатанных заготовок, подвергались разделению на фрагменты в количестве от 3 до 5 единиц. Геометрические размеры образцов составляли 12 мм по ширине и 65 мм по длине; вырезка осуществлялась как в продольном, так и в поперечном направлениях относительно оси прокатки. После раскроя все образцы проходили финишную механическую обработку в виде шлифовки (рис. 2).



a) b)

Рис.2. Образцы, подготовленные к проведению испытания на разрыв:
а) Вырезанные и раскроенный лист 7 – 1.1-1.5 – вдоль, 2.1-2.4 – поперек направления;
б) Вырезанные и раскроенный лист 8 – 1.1-1.3 – вдоль, 2.1-2.4 – поперек направления.

Испытания на растяжение выполнялись на универ-

сальной разрывной машине INSTRON модели 3382. По результатам испытаний рассчитаны средние значения механических характеристик (прочностных и пластических) для продольного и поперечного направлений, систематизированные в таблице 1. Коэффициент анизотропии Δ показателей прочностных и пластических свойств листов в продольном и поперечном направлениях, определяли по структуре уравнения, как и для предела текучести:

$$\Delta = \frac{\sigma_{T.\text{пр}} - \sigma_{\text{Т.п}}}{\sigma_{T.\text{пр}}} \times 100\% \quad (1)$$

где: $\sigma_{\text{Т.пр}}$ и $\sigma_{\text{Т.п}}$ - средние значения предела текучести в продольном и поперечном направлении листа соответственно.

Таблица 1.Влияние изменения направления прокатки алюминиевых листов АМг2 на стане 150 х 235 на основные показатели механических свойств и анизотропию.

Направление отбора образцов от листов и показатель анизотропии свойств, %	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$	Предел прочности, $\sigma_в$	Относительное удлинение, δ	Сужение поперечного сечения, ψ
	(Н/мм^2)	(Н/мм^2)	%	%
	Лист 0			
В продольном направлении	121,04	185,33	22,02	37,15
В поперечном направлении	120,15	183,25	22,16	37,24
Δ, %	0,74	1,12	0,63	0,24
	Лист 7			
В продольном направлении	188,67	276,88	8,05	14,33
В поперечном направлении	159,40	236,50	9,03	15,30
Δ, %	15,52	14,58	12,17	6,74
	Лист 8			
В продольном направлении	187,31	261,90	8,50	14,59
В поперечном направлении	184,46	253,97	8,38	14,78
Δ, %	1,48	3,02	1,34	1,32

Также получена диаграмма растяжения образцов (рис.3), вырезанных вдоль и поперек от листа 7, прокатанного в продольном направлении листа 8, прокатанного с чередованием продольных и поперечных проходов с суммарным обжатием около 60%.

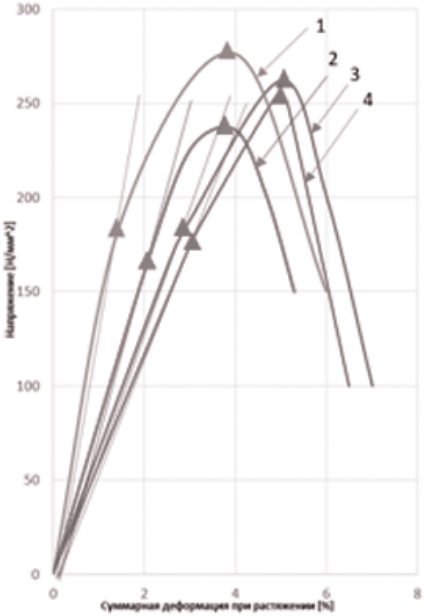


Рис. 3. Диаграммы растяжения образцов, вырезанных из листа 7 в продольном направлении – 1, поперечном направлении – 2 и образцов листа 8, вырезанных в продольном направлении – 3, поперечном направлении – 4.

Из кривых растяжения образцов 1 и 2 рис.3 следует, что после продольной прокатке формируется существенная неравномерность распределения свойств вдоль и поперек листа. Разница по пределу текучести и пределу прочности

составляет 30 - 40 Н/мм^2.Прокатка листов с чередованием продольных и поперечных проходов позволяет значительно уменьшить неравномерность распределения этих показателей свойств до 5- 7 Н/мм^2,что иллюстрируют кривые 3 и 4 на рис. 3.

Исходный в мягком состоянии лист 0 имеет значения предела текучести в продольном направлении $\sigma_{0,2} = 121,99$ Н/мм^2, а в поперечном направлении 120,15 Н/мм^2, а коэффициент анизотропии Δминимальный и составляет 0,74%. Предел прочности в продольном направлении $\sigma_в = 185,33$ Н/мм^2, в поперечном направлении 183,25 Н/мм^2. Коэффициент анизотропии Δдля предела прочности 1,12%. Относительное удлинение в продольном направлении 22,02%, а в поперечном направлении 22,16%. Коэффициент анизотропииΔдля относительного удлинения составляет 0,63%.Сужение поперечного сечения Ψ в продольном направлении37,15%, а в поперечном направлении 37,24%. Коэффициент анизотропииΔ составляет 0,25%.

При продольной прокатке за три прохода с суммарным обжатием около 60% листов 7 предел текучести $\sigma_{0,2}$ в продольном направлении составил 188,67 Н/мм^2, а в поперечном направлении 159,40 Н/мм^2. Поэтому коэффициент анизотропии большой и составил 15,52%. Предел прочности $\sigma_в$ 276,88 Н/мм^2 в продольном направлении и 236,5 Н/мм^2 в поперечном направлении соответственно. Коэффициент анизотропии Δ составил 14,58%. Значения пластических свойств такие как относительное удлинение δ составили 8,05 и 9,03% для продольного и поперечного направления. Коэффициент анизотропии Δ для данного показателя составил 12,17%. Сужение поперечного сечения Ψ в продольном направлении 14,33%, а в поперечном

направлении 15,30%. Коэффициент анизотропии Δ составляет 6,74%.

При прокатке с разворотом на 90 градусов при втором и третьем проходе листа 8 позволили существенно уменьшить неравномерности распределения показателей прочностных и пластических свойств.По сравнению с листом 7, прокатанным при продольной прокатке, предел текучести составляет $\sigma_{0,2}$187,31 Н/мм^2 в продольном направлении и 184,46 Н/мм^{2}в поперечном направлении листа 8. Показатель анизотропии $\Delta = 1{,}48\ \%$, что в 10,4 раза меньше, чем при прокатке листа 7. Предел прочности $\sigma_в$ для продольного направления 261,90 Н/мм^2 и для поперечного направления 253,97 Н/мм^2. Показатель анизотропии составляет $\Delta = 3{,}02\ \%$ что в 4,82 раза меньше, чем у листа 7.Относительное удлинение δ в продольном направлении 8,50%, в поперечном направлении 8,38%. Коэффициент анизотропии $\Delta = 1{,}34\%$, что в 9,1 раза меньше, чем при продольной прокатке. Сужение поперечного сечения Ψ в продольном направлении составляет 14,59 Н/мм^2, а при поперечном направлении 14,78 Н/мм^2. Коэффициент анизотропии $\Delta = 1{,}32\%$. Для данного показателя коэффициент анизотропии в 5,1 раза меньше, чем у листа 7.

Выводы

1. Экспериментально установлено положительное влияния прокатки листов с чередованием продольных и поперечных проходов на выравнивание показателей механических свойств и снижение анизотропии. Показано, что предел текучести $\sigma_{0,2}$ составляет 187,31 Н/мм^2 в продольном направлении и 184,46 Н/мм^2 для поперечного

направления. Показатель анизотропии $\Delta = 1{,}48\ \%$, что в 10,4 раза меньше, чем при продольной прокатке листов. Предел прочности $\sigma_в$ для продольного направления 261,90 Н/мм^2 и для поперечного направления 253,97 Н/мм^2. Показатель анизотропии составляет $\Delta = 3{,}02\ \%$, что в 4,82 раза меньше, чем при продольной прокатке листов.Относительное удлинение δ в продольном направлении 8,50%, в поперечном направлении 8,38%. Коэффициент анизотропии $\Delta = 1{,}34\%$, что в 9,1 раза меньше, чем при продольной прокатке. Сужение поперечного сечения Ψ в продольном направлении составляет 14,59%, а в поперечном направлении 14,78%. Коэффициент анизотропии $\Delta = 1{,}32\%$, который в 5,1 раза меньше, чем при продольной прокатке листов.

2. Результаты проведенных исследований используются на машиностроительном предприятии БФ АО «НПО «Прибор» для повышения требований к листовым заготовкам из алюминиевого сплава АМг2, прокатываемых на станах металлургических предприятиях, для снижении анизотропии свойств листов из перед штамповкой колпачков. Использование при штамповке колпачков листов, прокатанных с чередованием продольных и поперечных проходов, позволило увеличить на машиностроительном предприятии выход годных деталей на 4%.

Литература

1. Rogachev S.O., Naumova E.A., Doroshenko A.V., Karelin R.D., Komarov V.S., Abachkova N.Y., Yusupov V.S., Andreev V.A., Khatkevich V.M. Effect of equal-channel angular pressing on structural evolution, phase transformations and mechanical properties of Al-4Ca-0.8Mn-1.3Fe-0.1Zr-0.1Sc hypoeutectic alloy // Journal of Alloys and Compounds. 2022. T. 914. C. 165379. DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.165379

2. Medvedev, V.A., Komarov, Y.Y. Stabilizing the

transverse profile and hardness of S1 alloy strips during rolling, taking into account the asymmetric stiffness of the roll assembly. Metallurgist 68, 1468–1476 (2025). DOI: 10.1007/s11015-025-01862-2

3. Типалин С.А., Шаталов Р.Л., Белоусов В.Б. Штамповка вытяжкой осесимметричных деталей из латунных листов с регламентируемым утонением. Цветные металлы. 2022. № 3. С. 91-95. DOI: 10.17580/tsm.2022.03.10

4. Шелест А.Е., Юсупов В.С., Рогачев С.О., Тен Д.В., Андреев В.А., Карелин Р.Д. Исследование влияния условий правки полос и лент из металлических материалов на их свойства, геометрические и деформационные параметры процесса знакопеременного упругопластического изгиба. Металлы. 2024. № 1. С. 83-91. DOI: 10.31857/S0869573324018391

5. Захарченко И.Г., Волчок Н.А., Брюханов П.А., Совкова Т.С. Влияние комбинации прямой и поперечной прокаток на текстуру и анизотропию свойств листов α титанового сплаваTI-3AL-1,5V. Нові матеріали і технології в металургії та машино будуванні. 2010. No1. С. 93-98.

УДК 621.979-82

РАБОТЫ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ГИДРОСИСТЕМ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПРЕССОВ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В ООО «УРАЛЬСКИЙ ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР» В ПЕРИОД ПОСЛЕ 2022 ГОДА

Бодров В.В. — к.т.н., директор по стратегическому развитию, Багаутдинов Р.М. — генеральный директор, Батурин А.А. — к.т.н., главный инженер, Гойдо М.Е. — к.т.н., главный инженер проектов, Важенин А.А. — главный конструктор, Талалушкин Е.В. — ведущий конструктор, Шляпин Е.А. — ведущий конструктор
ООО «Уральский инжиниринговый центр», г.Челябинск

Повышение эффективности промышленного производства возможно не только путем внедрения новых технологий и использования современного оборудования, но и путем модернизации гидросистем и систем управления существующего уникального оборудования [1]. При этом модернизация может касаться не всей электрогидравлической системы управления такого оборудования, а только его части, выработавшей свой ресурс или морально устаревшей и подлежащей замене. Примером такой модернизации может служить замена главного гидрораспределителя, имевшего моноблочную конструкцию, и его электрогидравлической системы управления штамповочного пресса усилием 100 МН (10000 тс) производства УралМашЗавода [2], эксплуатируемого в ПАО «Русполимет» (г. Кулебаки). Рабочей жидкостью гидросистемы этого пресса является вода или водная эмульсия. Новый главный гидрораспределитель для указанного пресса, спроектированный и изготовленный в ООО «Уральский инжиниринговый центр», имеет блочную

структуру и включает в свой состав три клапанных модуля с условным проходом 80 мм (рис.1) и четыре клапанных модуля с условным проходом 32 мм, имеющих конструкцию, защищенную патентами РФ на полезные модели № 96924, № 208659 [3, 4]. Все указанные клапанные модули имеют в своем составе гидроцилиндр управления, работающий на гидравлическом масле, снабжены датчиком положения их запорно-регулирующего элемента, и работают как двухлинейные гидрораспределители с пропорциональным электрическим управлением, обеспечивая в соответствии с управляющими электрическими сигналами изменение площади их проходного сечения от нуля до максимального значения. Для управления главным гидрораспределителем спроектирована и изготовлена насосно-аккумуляторная установка, работающая на гидравлическом масле (рис.2).

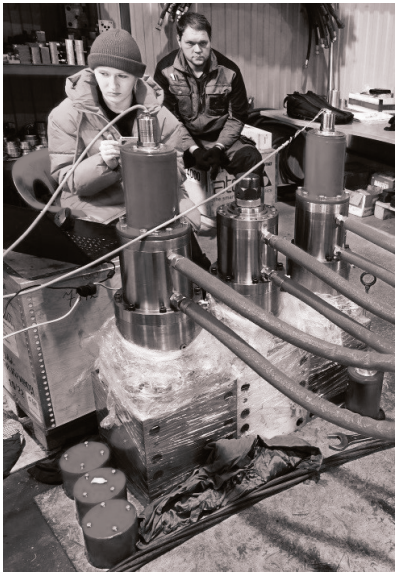


Рис. 1.

Проверка динамических характеристик работы клапанных модулей с пропорциональным управлением и с условным проходом 80 мм на участке испытаний готовой продукции ООО «УрИЦ»

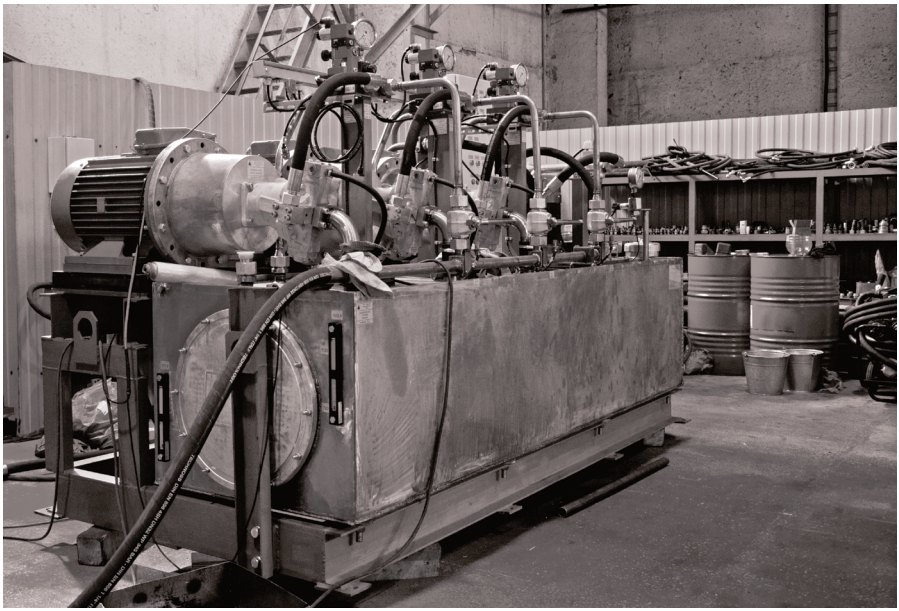


Рис. 2. Насосная установка системы управления на участке испытаний готовой продукции ООО «УрИЦ»

Клапанные модули и насосно-аккумуляторная установка управления, аналогичные вышеупомянутым, использованы при модернизации гидросистемы специального гидравлического штамповочного пресса усилием 50 МН (5000 тс) модели КП-329 производства Коломенского завода тяжелых станков, эксплуатируемого в ФГУП «Комбинат Электрохимприбор» (г. Лесной).

В процессе модернизации указанного пресса пред-

усмотрена возможность увеличения его номинального усилия до 60 МН (6000 тс). Для этого в состав гидросистемы пресса введен мультипликатор с соответствующей гидроаппаратурой управления.

В составе модернизированной гидросистемы пресса КП-329 используются клапанные модули как с пропорциональным, так и с дискретным управлением, с разным исполнением корпуса (рис. 3). Клапанные модули с дискретным управлением комплектуются концевыми выключателями, позволяющими контролировать перемещение запорно-регулирующего элемента в его крайние положения (при которых проходное сечение модуля полностью открыто или полностью закрыто), а также регулировочным винтом, позволяющим настраивать величину максимального смещения запорно-регулирующего элемента относительно его седла и тем самым ограничивать значение максимальной площади проходного сечения клапанной пары.

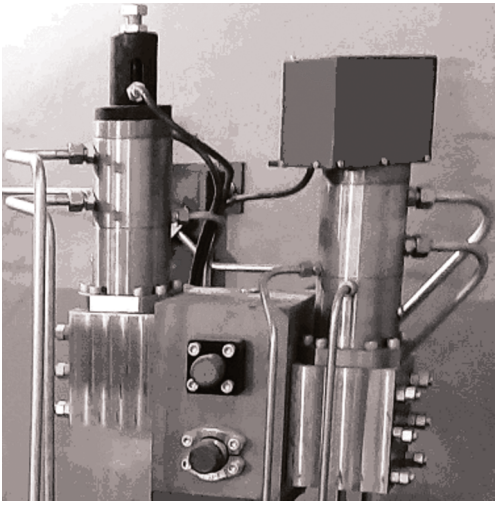


Рис. 3.

Гидропанель с двумя клапанными модулями, имеющими условный проход 32 мм, с дискретным (слева) и с пропорциональным (справа) управлением, монтируемыми сбоку на гидравлической плите

В качестве переливного клапана на баке наполнения гидросистемы пресса использован предохранительный клапан прямого действия типа СППК4Р-150-16, снабженный гидроцилиндром управления, работающим на гидравлическом масле и обеспечивающим принудительные открытие и закрытие проходного сечения клапана в зависимости от уровня рабочей жидкости в баке наполнения и давления в нем.

Отличительной особенностью клапанных модулей, конструкция которых защищена патентами РФ № 96924, № 208659 является то, что сила, действующая на их запорно-регулирующий элемент со стороны основной рабочей жидкости, всегда направлена на закрытие проходного сечения клапанного модуля вне зависимости от соотношения значений давления в его входном и выходном каналах. Для обеспечения этого свойства запорно-регулирующий элемент снабжен вспомогательным поршнем, полость с одной стороны которого соединена с выходным каналом модуля, а полость с другой стороны соединена с дренажной гидролинией, что усложняет конструкцию модуля.

В целом ряде случаев использования клапанных модулей в гидросистемах прессов значение давления в выходном канале модуля никогда не превышает давление в его входном канале (например, для сливных клапанных модулей).

С учетом данного обстоятельства и большого числа используемых клапанных модулей при модернизации гидросистемы вертикального листоштамповочного прес-

са двойного действия усилием 150 МН (15000 тс) (рис.4) производства фирмы «IHI Corporation» (Япония), эксплуатируемого на предприятии «Атоммаш» (г. Волгодонск), для управления рабочим оборудованием пресса применены клапанные модули упрощенной конструкции, у которых сила, действующая со стороны рабочей жидкости, находящейся в выходном канале клапанного модуля, направлена на открытие проходного сечения клапанной пары.

Для исключения возможности открытия проходного сечения клапанной пары такого клапанного модуля под действием основной рабочей жидкости, что возможно (при отсутствии дополнительных мер) для напорных клапанных модулей, управляющих подъемными гидроцилиндрами прижимной и вытяжной траверс пресса, а также гидроцилиндром привода центрального выталкивателя, между выходным каналом соответствующего напорного клапанного модуля и гидролинией, идущей от него к гидроцилиндрам, установлен обратный клапан (рис.5).

По заказу ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (г. Луховицы) успешно выполнены работы по модернизации гидросистемы и системы управления специального листоштамповочного пресса модели ЯО6017 усилием 240 МН (24000 тс) производства ПО «Коломенский завод тяжелого станкостроения» (рис.6). Данный пресс предназначен для холодной штамповки деталей из листового металла методом обжима эластичной подушкой заготовки по формовочному блоку.

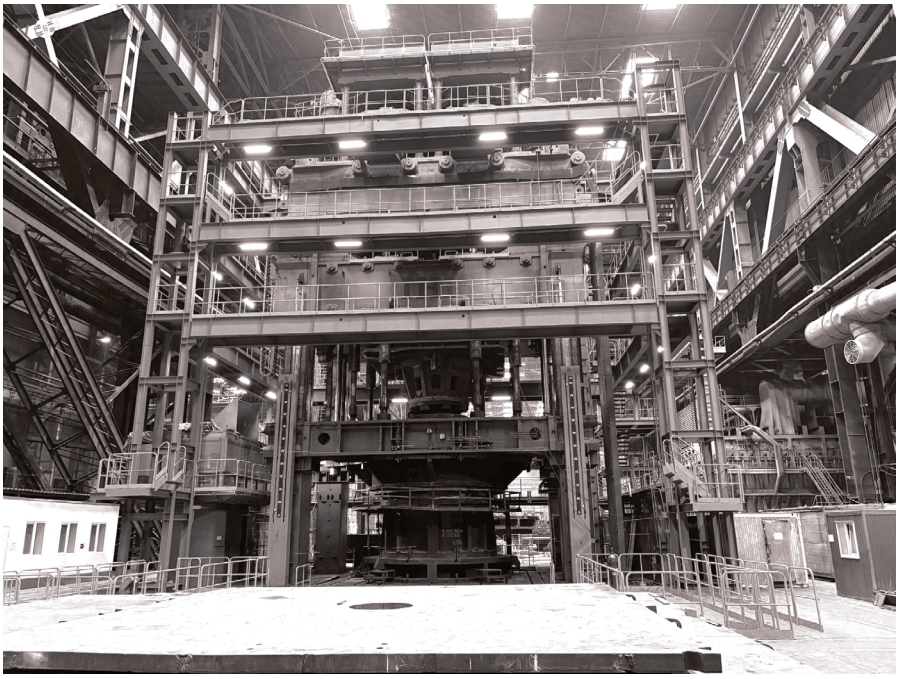


Рис. 4. Общий вид вертикального гидравлического листоштамповочного пресса двойного действия усилием 150 МН

В отличие от вышеупомянутых прессов рабочей жидкостью гидросистемы пресса модели ЯО6017 изначально является гидравлическое масло.

При модернизации гидросистемы данного пресса осуществлен переход от использования золотниковых гидрораспределителей больших типоразмеров на клапанные гидроаппараты встраиваемого исполнения производства фирмы “ATOS” (Италия).

В составе насосной установки пресса в качестве силовых насосов применены аксиально-поршневые нерегулируемые насосы типа 310.4.160.05.06.В.У1, а в качестве

насоса управления — регулируемый насос (с регулятором давления) типа 313.4.55.390.500.00.В.У1 производства ОАО "Пневмостроймашина" (г. Екатеринбург). В состав модернизированной системы фильтрации и охлаждения рабочей жидкости входят два шестеренных насоса типа НШ250А-4, два фильтра типа 1ФС.045/Х-18х2/10-ЭВ/Ф производства ООО "УрИЦ" (г. Челябинск) и два теплообменных аппарата с воздушным охлаждением типа TOR 400 380AC ORION производства ГК "ОРИОН" (г. Ижевск) (рис.7).

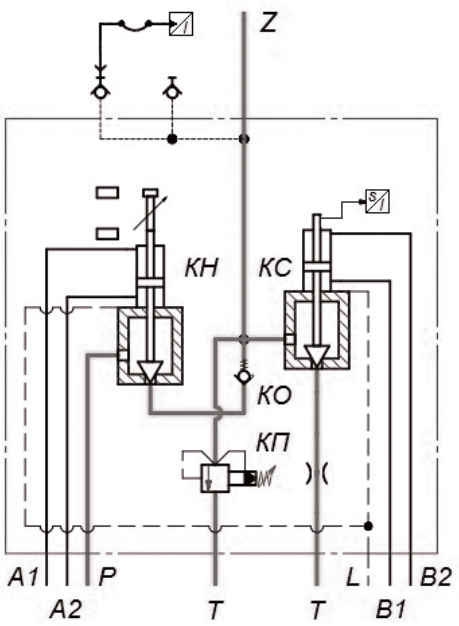


Рис. 5. Принципиальная схема гидропанели управления подъемными гидроцилиндрами прижимной (вытяжной) траверсы модернизированной гидросистемы листоштамповочного пресса двойного действия усилием 150 МН: КН, КС – соответственно напорный и сливной

клапанные модули; КО – обратный клапан; КП – предохранительный клапан; Р – напорная гидролиния; Т – сливная гидролиния; Z – исполнительная гидролиния (гидролиния к силовым гидроцилиндрам); L – дренажная гидролиния;А1, А2, В1, В2 – гидролинии управления гидроцилиндрами клапанных модулей

При проведении модернизации пресса гидравлический привод столов заменен на электромеханический привод с использованием моторов-редукторов типа NMRV150.40.35.7,5x1400 производства предприятия «Кременкульский редукторный завод. Европривод».



Рис. 6. Общий вид специального листоштамповочного пресса модели ЯО6017М усилием 240 МН

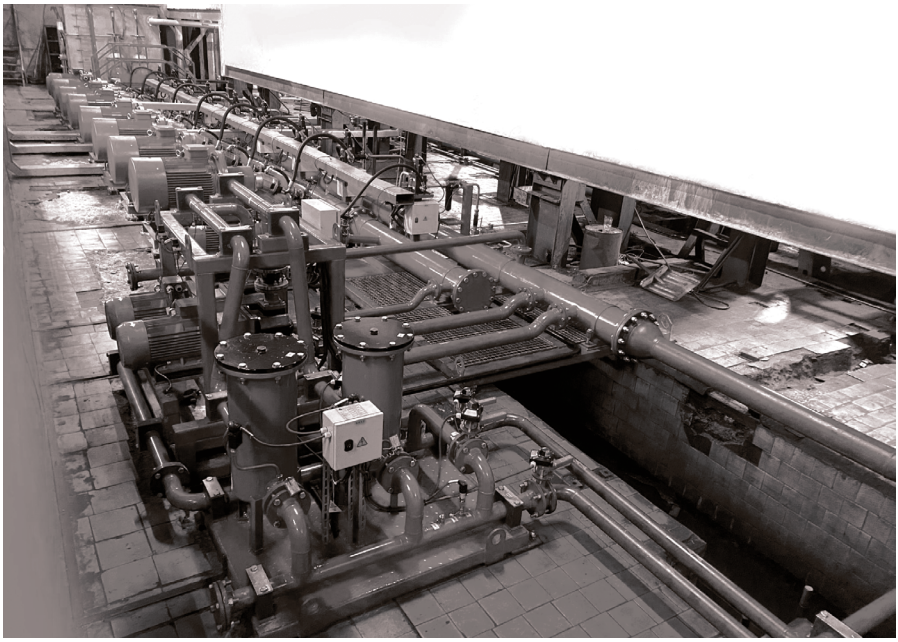


Рис. 7. Общий вид модернизированной насосной установки листоштамповочного пресса модели ЯО6017М усилием 240 МН

Для всех вышеперечисленных прессов спроектированы и изготовлены необходимые силовые электрошкафы, шкафы автоматики, местные и главные пульты управления, разработано специальное программное обеспечение, обеспечивающее возможность эксплуатации прессов в различных режимах работы с требуемой степенью автоматизации, а также автоматизированные контроль и диагностирование технического состояния гидросистемы и системы управления прессов [5]. В качестве примера на рис.8 показан общий вид модернизированного главного пульта управления листоштамповочного пресса двойного действия усилием 150 МН.



Рис. 8. Общий вид модернизированного пульта управления листоштамповочного пресса двойного действия усилием 150 МН

Литература

1. Блик Ф.С. Модернизация мощного кузнечно-прессового оборудования. Екатеринбург: ООО «Компания КОПИМАРКЕТ», 2013. 356 с.

2. Карасев М.А., Баранов И.В., Блик Ф.С., Сошников

В.С. Кузнечно-прессовое оборудование Уралмашзавода. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. 480 с.

3. Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Батурин А.А., Гойдо М.Е. Производство гидравлических устройств для прессового оборудования, работающего на воде и водной эмульсии // Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Том 17. № 3. С. 137-144.

4. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Упрощенный расчет основных размеров клапанного модуля для гидрораспределителей прессов // Механическое оборудование металлургических заводов. 2023. № 2 (21). С. 24-30.

5. Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Гойдо М.Е. Об автоматизации контроля и диагностирования технического состояния гидроприводов промышленного оборудования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2021. № 10. С. 19 - 24. DOI: 10.14489/hb.2021.10.pp.019-024

УДК 620.191

«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ МНОГОВАЛКОВЫХ СТАНОВ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШЕЙ ЛЕНТЫ»

Асаев А.С., Татарников Н.Н., Аверин Н. В.
Асаев Александр Семенович: доктор технических наук; Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета; заместитель директора филиала по научной работе и цифровому развитию; Россия, г.Рязань; asaev_a_s@mail.ru.
Татарников Николай Николаевич: АО «ГРПЗ», начальник бюро автоматизации отдела ИАСУ; Россия, г.Рязань;
Аверин Николай Витальевич: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета; старший преподаватель; Россия, г.Рязань; n.v.averin@yandex.ru.

Аннотация

В статье рассмотрены технологические подходы к повышению эффективности отделочной обработки рабочих валков многовалковых прокатных станов, применяемых для производства тончайшей ленты. Представлены требования к качеству и геометрическим параметрам валков, конструктивные особенности многовалковых станов. Предложен комбинированный метод обработки, сочетающий анодное воздействие и обработку свободным абразивом с использованием кавитационного эффекта. Приведены экспериментальные данные по режимам обработки, составу рабочей среды и достигаемым показателям шероховатости. Показано, что применение комбинированного метода позволяет

сократить длительность полирования, снизить концентрацию химически активных компонентов и повысить качество поверхности валков из легированных сталей, алюминиевых и никелевых сплавов.

Ключевые слова: рабочие валки, многовалковый стан, отделочная обработка, кавитация, анодная обработка, шероховатость, качество поверхности.

Введение

Производство тончайшей металлической ленты предъявляет повышенные требования к точности и качеству поверхности прокатных валков. От стабильности геометрических параметров и микрорельефа рабочей поверхности валка напрямую зависят толщина, равномерность и качество прокатываемой ленты. В связи с этим задача повышения эффективности отделочной обработки валков является одной из ключевых в технологии холодной прокатки.

Традиционные методы полирования и шлифования зачастую оказываются недостаточно производительными, либо требуют значительных концентраций агрессивных химических реагентов. В современных условиях востребованы комбинированные методы, позволяющие одновременно воздействовать на поверхность механически, электрохимически и гидродинамически. Одним из перспективных направлений является совмещение анодной обработки с обработкой свободным абразивом при создании кавитационных зон в рабочей среде.

Цель работы — обосновать технологический процесс, обеспечивающий достижение требуемых параметров качества поверхности рабочих валков при сокращении времени обработки и снижении экологической нагрузки за счёт уменьшения концентрации химически активных веществ.

Параметры качества, предъявляемые к прокатным рабочим валкам многовалковых станов

К рабочим валкам для прокатки тончайшей ленты предъявляются жёсткие требования по совокупности геометрических и поверхностных характеристик:

- допуск круглости рабочей поверхности — не более 0,002 мм. Это необходимо для обеспечения равномерной толщины ленты по всей ширине и длине;

- допуск наклона поверхности бочки — не более 0,005 мм. Нарушение этого параметра приводит к неравномерному распределению давления по ширине ленты и возникновению дефектов формы;

- шероховатость рабочей поверхности (Ra) — не более 0,01 мкм. Такая чистота поверхности минимизирует налипание материала ленты, снижает коэффициент трения и предотвращает образование микроцарапин;

- твёрдость поверхностного слоя — 65–68 HRC, что обеспечивает высокую износостойкость при сохранении достаточной вязкости сердцевины;

- глубина упрочнённого слоя — 0,25–1 мм, что позволяет компенсировать локальные контактные нагрузки без пластического деформирования;

- структура поверхностного слоя должна быть однородной, без крупных карбидных скоплений и резких градиентов твёрдости, способных инициировать микротрещины;

- отсудившие пористости и шаржирования поверхности. Фото поверхности с шаржирующими частицами представлено на рис.1 [1].

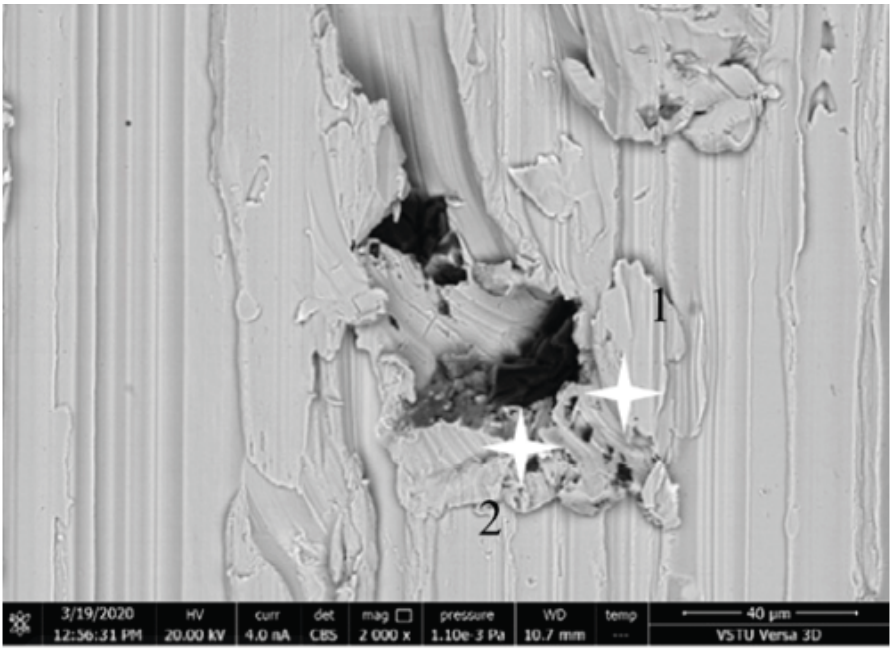


Рис. 1. Фото поверхности детали, содержащей шаржирующую частицу

Достижение указанных параметров обеспечивается не только выбором материала и термической обработки, но и применением финишных методов отделочной обработки, позволяющих формировать стабильную микрогеометрию поверхности.

Особенности конструкции многовалковых станов для прокатки тончайшей ленты

Многовалковые станы (в частности, 20 валковой конфигурации) предназначены для прокатки лент с толщиной в диапазоне 4-30 мкм с высоким качеством поверхности.

Их конструктивные особенности обусловлены необходимостью минимизировать прогиб рабочих валков и обеспечить равномерное распределение нагрузки по длине бочки.

Ключевые особенности:

- система опорных валков большого диаметра, воспринимающих основную нагрузку и снижающих прогиб рабочих валков;

- рабочие валки малого диаметра (часто 15-25 мм), что позволяет уменьшить площадь контакта с полосой и снизить усилие прокатки, но требует повышенной жёсткости и износостойкости;

- системы автоматического регулирования положения валков и усилия прокатки в реальном времени, позволяющие компенсировать температурные и упругие деформации.

Основная часть

Прокатные валки изготавливаются из инструментальной легированной стали ХВГ (ГОСТ 5950–2000). Выбор материала обусловлен низким уровнем коробления после термической обработки и редуцирования, а также способностью формировать мелкозернистую структуру, обеспечивающую высокую износостойкость.

Термическая обработка проводится по следующему маршруту [2]:

1. Отжиг при температуре 770–790 °C до твёрдости 207–210 НВ. Цель — сформировать структуру зернистого перлита с баллом зерна 3–5, что улучшает обрабатываемость и снижает внутренние напряжения.

2. Редуцирование (волочение) с двукратным обжатием (2 % и 5 %) позволяет сформировать направленную структуру поверхностного слоя, способствующую повыше-

нию твёрдости и износостойкости после закалки.

3. Закалка при температуре 810 °C с охлаждением в масле и последующим отпуском до твёрдости 65–68 HRC. Повышенная твёрдость обусловлена напряжённо деформированным состоянием поверхностного слоя на глубину 0,25–1 мм.

Шлифование и финишная обработка

Для достижения требуемой геометрии применяется шлифовально заточной станок с дискретностью радиального перемещения 0,0001 мм, позволяющий обеспечить допуски круглости и наклона в заданных пределах [3].

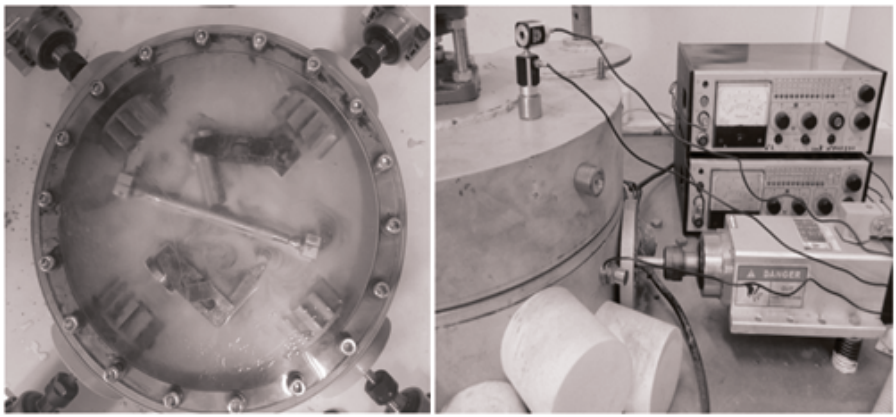
После шлифования валок подвергается отделочной обработке в устройстве, соответствующем патенту RU 210921 U1. Финишная обработка реализуется комбинированным методом, сочетающим:

- механическое воздействие свободным абразивом (зернистость менее 10 мкм);
- анодное растворение поверхностного слоя;
- кавитационное воздействие, создаваемое вращением роторов активаторов.

Экспериментально установлено, что при частоте вращения ротора активатора 11 000 об/мин возникает кавитационный шум в диапазоне частот от 40 кГц до 10 МГц. Ультразвуковое воздействие с частотой 30 кГц и мощностью 700 Вт дополнительно интенсифицирует процессы массопереноса и локального разрушения поверхностных дефектов. Фото процесса отделочной обработки представлено на рисунке 2 [4].

В качестве вихреобразователя используем устройство, которое снабжено четырьмя специальными проточными роторами. Результаты моделирования роторов-активато-

ров в среде Ansys показали, что разработанная конструкция ротора позволяет с большой эффективностью смешивать жидкости с высоким КПД преобразования механической энергии в энергию движения несущей среды.



а) б)

Рис. 2 – Фото процесса обработки: а – до обработки; б – регистрация порога возникновения кавитации в гетерогенной рабочей среде

Режимы и состав рабочей среды

Для обработки сталей, легированных хромом и никелем, а также алюминиево магниевых и никелевых сплавов, применяется следующий состав рабочей среды:

- водный раствор карбоната натрия (Na_2CO_3) — 10 %;
- диметилполисилоксан — 5 % (пеногаситель);
- полиэтиленгликоль моноолеат — 3 % (пеногаситель);
- объёмная доля абразивного материала — 40–50 %.

При совмещённой анодной и отделочной обработке используется иной состав:

- азотнокислый хром $Cr(NO_3)_2$ — 100 г/дм³;
- стеариновая кислота — 70 г/дм³;
- диметилполисилоксан — 30 г/дм³ (пеногаситель);
- полиэтиленгликоль моноолеат — 30 г/дм³ (пеногаситель).

Обработка проводится в импульсном режиме с нижним постоянным уровнем плотности тока 10–15 А/дм², эффективной частотой импульсов 200 Гц и напряжением импульса 300 В. Катодом служит корпус устройства. Снижение проводимости электролита в кавитационном режиме делает импульсный режим наиболее эффективным, поскольку он позволяет избежать перегрева и неравномерного растворения.

Эксперименты показали, что за 21 минуту обработки достигается шероховатость поверхности Ra 0,1 мкм, что соответствует требованиям к валкам для прокатки тончайшей ленты.

Обсуждение

Применение комбинированного метода отделочной обработки позволяет решить несколько технологических задач одновременно[5]:

- сокращение времени полирования за счёт синергетического эффекта механического, электрохимического и кавитационного воздействия.
- снижение концентрации химически активных веществ, в частности азотнокислого хрома, что уменьшает экологическую нагрузку и затраты на утилизацию отработанных растворов.
- повышение универсальности процесса для различ-

ных материалов: нержавеющих сталей, алюминиево магниевых и никелевых сплавов.

- обеспечение стабильности параметров качества за счёт контролируемого импульсного режима и точного состава рабочей среды.

Важным фактором является необходимость подбора частоты импульсов в зависимости от параметров шероховатости, состава электролита и свойств обрабатываемого материала. В дальнейших исследованиях целесообразно изучить влияние частоты импульсов на равномерность анодного растворения и формирование микрорельефа.

Конструкция многовалкового стана предъявляет высокие требования к стабильности геометрии валков, поэтому любые отклонения в процессе обработки могут привести к ухудшению качества ленты. Применение прецизионного шлифовального оборудования и последующей комбинированной обработки позволяет минимизировать такие риски.

Выводы

1. Для прокатки тончайшей ленты рабочие валки должны соответствовать строгим требованиям по геометрической точности (допуск круглости 0,002 мм, наклона — 0,005 мм) и шероховатости поверхности (Ra 0,01 мкм).

2. Конструкция многовалковых станов обеспечивает высокую точность прокатки за счёт системы опорных валков, жёсткой станины и систем автоматического регулирования, но требует высокого качества поверхности рабочих валков.

3. Комбинированная отделочная обработка, совмещающая анодное воздействие, обработку свободным абразивом и кавитационное воздействие, позволяет достичь требуемых параметров качества поверхности при сокраще-

нии длительности процесса и снижении концентрации химически активных веществ.

4. Экспериментально подтверждено, что при заданных режимах (частота вращения роторов 11 000 об/мин, импульсный режим с частотой 200 Гц, напряжение 300 В) за 21 минуту достигается шероховатость Ra 0,1 мкм.

5. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация частоты импульсов и состава рабочей среды для различных групп материалов, а также автоматизация контроля качества поверхности в реальном времени.

Литература

1. Носенко В.А., Кузнецов С.П., Сердюков Н.Д., Ших А.А., Щербань С.Д., Пузырькова В.Е. СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАРЖИРОВАНИЯ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОДУКТАМИ ИЗНОСА ПРИ ШЛИФОВАНИИ // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 12. С. 128-132;URL: http://top-technologies.ru/article/view?id=40613 (дата обращения: 18.08.2026).DOI: https://doi.org/10.17513/snt.40613

2. Способ комбинированного электрофизического и абразивного полирования с применением эффекта кавитации поликомпонентных сред / А. С. Асаев, Н. В. Аверин, И. В. Ситников [и др.] // Металлообработка. – 2026. – № 1(151). – С. 20-25.

3. Козырев, С. П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С. П. Козырев. - М.: Машиностроение, 1971. - 240 с.

4. Пылаев, Н.И. Восстановление деталей гидротурбин, разрушенных кавитацией/ Н.И. Пылаев // Энергомашиностроение. – 1978. – № I. – С. 39–41.

5. Отделочная обработка трактовых поверхно-

стей лопаток ТВД свободным абразивом с применением эффекта вихревой кавитации / А. С. Асаев, Н. В. Аверин, А. В. Иванайский [и др.] // Технология машиностроения. – 2024. – № 1. – С. 11-16.

МОЩНЫЕ БЕСШАБОТНЫЕ МОЛОТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ РОССИИ

Шрамков С.И. – заведующий отделом Конструкторско-технологического филиала Института гидродинамики имени М.А. Лаврентьева СО РАН, г.Новосибирск

Рассмотрено использование шаботных и бесшаботных молотов в России, Германии, Китае. Показаны преимущества бесшаботных молотов по сравнению с шаботными.

Ключевые слова: бесшаботный молот; шаботный молот; мощный шаботный молот; мощный бесшаботный молот.

Важность и эффективность использования мощных бесшаботных молотов (БШМ) для военно-промышленного комплекса (ВПК) впервые продемонстрировала Германия. Именно она разработала первую промышленную модель БШМ. А в 1943 году на заводе Круппа уже была пущена крупнейшая кузница с двумя изготовленными фирмой BECHE бесшаботными молотами с энергией удара 630 кДж и одним молотом с энергией 800 кДж [1,2].

Немецкий опыт показал перспективность БШМ и стимулировал их продвижение в промышленность. После победы над Германией руководство нашей страны приняло решение по форсированному созданию и использованию этой технологии прежде всего для нужд обороны.

Работы начались одновременно сразу в нескольких центрах. Над созданием супермощного бесшаботного молота по идеям BECHE с энергией удара 1500 кДж работала Москва с Краматорском, над молотом средней мощности работал Воронеж, а сибирскому отделению академии наук в Новосибирске поставили задачу создать самый мощный в мире БШМ с энергией 2000 кДж.

К сожалению, в тяжелые для машиностроения времена эти работы были остановлены. Сегодня у нас нет промышленного образца мощного бесшаботного молота, и заготовительное производство России вынуждено штамповать тяжелые поковки на паровоздушных шаботных молотах с весом падающих частей 16 тонн (энергия 400 кДж) и 25 тонн (энергия 625 кДж). Эти молоты имеют множество недостатков. У них очень низкий КПД и они создают высокий уровень вибраций. При штамповке супертяжелых поковок они производят необоснованно большое количество ударов. Кроме того, они не могут обеспечить точную штамповку из-за отсутствия выталкивателя и невозможности точно регулировать энергию удара.

Ведущие производители кузнечного оборудования рекомендуют заменять шаботные молоты на бесшаботные. Это не только повышает КПД удара, но и на 80-90 процентов снижает нагрузки на фундамент и вызываемую ими вибрацию. Из каталога фирмы LASCO [3] видно, что промышленность ведущих стран отказывается от применения тяжелых шаботных молотов с энергией выше 200 кДж, вызывающих большие сейсмические нагрузки.

Бурное развитие промышленности Китая потребовало разработки собственной конструкции БШМ. В 2012 году был спроектирован и в 2013 запущен в серийное производство бесшаботный молот ДКА250 с энергией 250 кДж [4]. Этой мощности было недостаточно для тяжелых поковок, поэтому в 2016 году Китай заключил контракт на поставку в несколько раз более мощного молота с энергией 800 кДж с фирмой SCHUIER с пуском его в 2018 году. Надо сказать, что в 2014 году в Москве на конференции «Металлургия в обеспечении гособоронзаказа», проводимой Русметом, при обсуждении моего доклада [2] с представителями НКМЗ (Новокраматорского машиностроительного завода) выясни-

лось, что Китай вел переговоры с НКМЗ о создании сверхмощного БШМ.

К сожалению, сегодня наш ВПК вынужден использовать паровоздушные молоты, так как у отечественного машиностроения нет промышленного образца мощного бесшаботного молота, хотя есть значительный технический задел для его создания. Рассмотрим его подробнее.

В начале семидесятых годов Всесоюзный (сейчас Всероссийский) научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт (ВНИИМЕТМАШ) и Новокраматорский машиностроительный завод спроектировали, изготовили и запустили в работу в городе Чебаркуль сверхмощный бесшаботный молот с энергией соударения 1500 кДж. На молоте были получены уникальные поковки. Он и сейчас работает, но из-за многочисленных поломок и длительных простоев на ремонты не может быть рекомендован к тиражированию. [1].

В 1974 году был запущены в работу высокоскоростные молоты М7352 с энергией соударения 160 кДж и М7354 с энергией 250 кДж. Они были разработаны и изготовлены на Воронежском заводе тяжелых механических прессов («Тяжмехпресс»). Эти молоты имеют недостаточные габариты штампового пространства и маленький ход. Кроме того их конструкция не позволяет выполнять штамповку в режиме жестких ударов [1,6]. На сегодняшний день известно, что по крайней мере один из молотов М7352 продолжает использоваться в промышленности и не может быть заменен на другое оборудование.

В начале восьмидесятых в Конструкторско-технологическом филиале института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева (КТФ ИГиЛ СО РАН) Сибирского отделения Российской академии наук были созданы бесшаботные молота типа МШ [1,5,6]. Опытный образец молота МШ-250 с

энергией деформирования 250 кДж предназначался для точной штамповки поковок оборонно-промышленного комплекса. В середине восмидесятых на нем были получены уникальные поковки для Новосибирского завода «Сибсельмаш» и приборостроительного завода имени Ленина. После успешных испытаний экспериментального образца чертежи молота были доработаны и переданы для изготовления на Воронежский завод тяжелых механических прессов. К сожалению, в связи с известными трудностями девяностых годов эти работы были прекращены. Однако нам удалось найти новых заказчиков и продолжить работы по совершенствованию конструкции молота. За прошедшее время на молоте отштамповано свыше 100000 уникальных поковок и подтверждена правильность принятых конструктивных решений.

Важными отличиями молотов модели МШ от наиболее распространенных в отечественной промышленности бесшаботных молотов конструкции ЭНИКмаша являются :

- простая форма равных по весу ударных масс, позволяющая наносить жесткие удары при максимальной энергии;

- большие размеры штампового пространства, дающие возможность производить штамповку крупных поковок и размещать матрицы в мощных бандажированных обоймах;

- наличие свободного полета нижней ударной массы после завершения разгона, обеспечивающее мгновенное размыкание штампа;

- конструкция пневмо-гидропривода и управляющих клапанов, позволяющая выполнять многоударную штамповку и производить выталкивание поковки сразу после размыкания штампа;

- мощный выталкиватель, дающий возможность вы-

полнять штамповку в разъемных штампах.

Перечисленное выше дает основания утверждать, что наша страна имеет хороший технический задел и, при наличии соответствующего решения, может достаточно быстро создать мощный БШМ не уступающий лучшим мировым образцам.

Обсуждение этой проблемы на конгресс «Кузнец 2026» и принятие соответствующего решения может стать важным шагом на пути к технологической независимости России. Приглашаем к сотрудничеству потребителей продукции нашего бесшаботного молота и команды для участия в разработке и изготовлении линейки новых БШМ.

Литература

1. Колотов Ю.В. Повышение работоспособности бесшаботных молотов с гидравлическим механизмом связи. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва. 2011.

2. Шрамков С.И. Применение штамповочного молота в производстве продукции ВПК /Сборник докладов и материалов конференции «Металлургия в обеспечении гособоронзаказа»-Москва: «Русмет», 2014.

3. Рекламный проспект LASCO UMFORMTECHNIK GmbH -10/22

4. ДКА250. Каталог фирмы Anyang Forging Press

5. Шрамков С.И. Создание кузнечно-прессовых машин и развитие обработки давлением в КТФ ИГиЛ СО РАН \Сб.докладов и материалов XII конгресса «Кузнец-2015» -Рязань: Тяжпрессмаш, 2015. С.221-232

6. Шрамков С.И. Технологические возможности бесшаботных молотов модели МШ, разработанных КТФ ИГиЛ СО РАН. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением,2020, №11, с.42-48.

ЦИФРОВОЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ КНР

«Лунг Ян Машинери» Иванов А.Ю.- руководитель направления кузнечно-прессового оборудования компании «Лунг Ян Машинери», Москва

«Лунг Ян Машинери» является сертифицированным высокотехнологичным производителем, обладающим государственным статусом. Компания с 2003 года специализируется на разработке и производстве цифрового кузнечно-прессового оборудования. Основная номенклатура продукции включает кольцепрокатные станки, гидравлические ковочные прессы, а также комплексные автоматизированные линии.

Поставляемое оборудование находит широкое применение в подшипниковой, автомобильной, аэрокосмической, энергетической и нефтехимической отраслях промышленности. Применение цифровых систем числового программного управления обеспечивает высокий уровень производительности, энергоэффективности и автоматизации производственных процессов, что позволяет предлагать заказчикам комплексные технические решения для оснащения кузнечных предприятий.

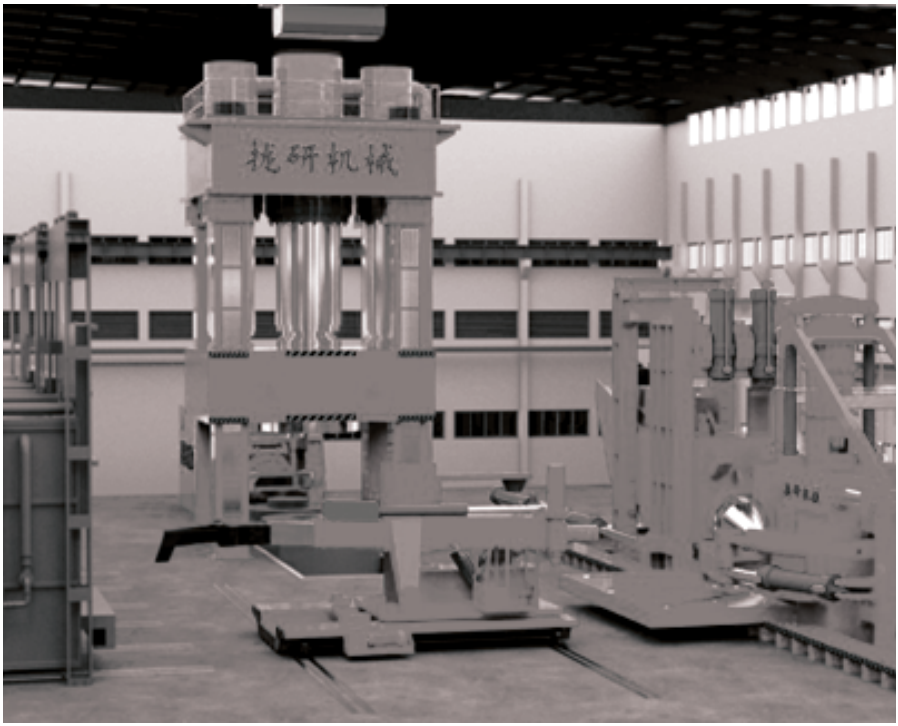
Основная продукция

• Прецизионные ковочные станки и гидравлические прессы (в т.ч. быстроходные);

• Кольцепрокатные станки серий D51–D53, станки ротационной ковки и раздачи колец;

• Прокатные станы (поперечно-клиновые), промышленные манипуляторы, загрузочные устройства

• Комплексные автоматические кузнечные линии



Предприятие располагает производственной базой, которая позволяет выпускать крупногабаритное тяжёлое оборудование от изготовления отдельных узлов до окончательной сборки.

Кольцепрокатные станы изготавливаются двух типов: радиально-осевые и вертикальные.

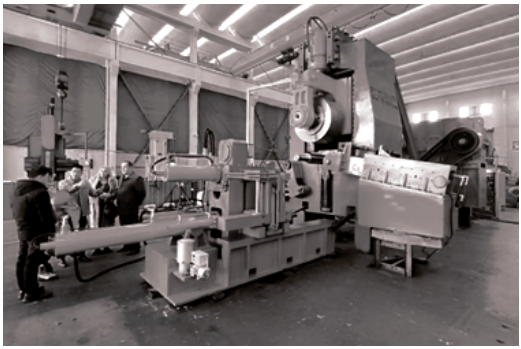
Радиально-осевые станы ориентированы на обработку крупногабаритных тяжёлых колец и оптимальны для непрерывного серийного производства.

Вертикальные станы предназначены для средних и малых колец, отличаются высокой гибкостью цифрового управления и позволяют быстро переналаживаться на другие типоразмеры.





Радиально-осевые кольцепрокатные станы с ЧПУ





Радиально-осевые кольцепрокатные станы с ЧПУ

Гидравлическое кузнечно-прессовое оборудование выпускается трех видов: ковочные прессы, быстроходные прессы с открытой С-образной рамой и станки ротационной ковки.

Диапазоном усилий от 500 до 30 000 тонн.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ КУЗНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: ВСЕ ТИПОРАЗМЕРЫ

Три типа гидравлического формовочного оборудования охватывают весь диапазон тоннажа — от 500 до 30 000 тонн. Возможна индивидуальная настройка под любые задачи: от базовой ковки до высокоточной формовки сложных деталей. Оборудование отвечает самым разнообразным производственным требованиям.





01 Ковочный пресс (500–30 000 т)

Гибкая настройка, высокая точность, стабильность. Для крупных тяжёлых поковок.





02 Быстроходный пресс С-типа (630–1 500 т)

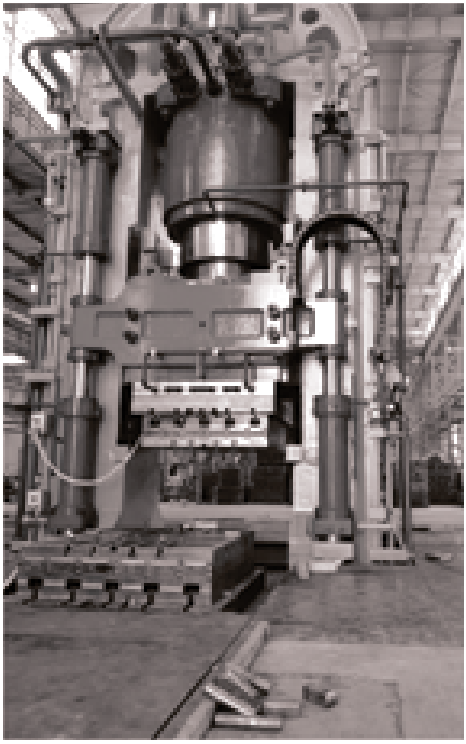
Открытая конструкция, высокая частота ходов, компактный, экономичный. Для средних и малых деталей.



03 Станок ротационной ковки с ЧПУ (630–2 500 т)

Безударная обработка, низкий шум, высокая точность. Для фланцев и дисков.





Прецизионные радиально-ковочные комплексы с ЧПУ

Благодаря технологии синхронной ковки четырьмя бойками достигается высокая точность формообразования, улучшается микроструктура металла, имеется возможность обработки широкого спектра высокопрочных легированных материалов. Высокая гибкость цифрового управления делает эти станки оптимальными для серийного производства высокоточных валов и других ответственных деталей.



Вспомогательное кузнечное оборудование, манипуляторы, калибровочное оборудование для колец



Ковочные манипуляторы, загрузочно-разгрузочные роботы и калибровочные прессы для колец образуют единую систему, которая может быть интегрирована с любым основным кузнечным оборудованием. Данный комплекс обеспечивает транспортировку заготовок и калибровку геометрии изделий, позволяя создавать полностью автоматизированные кузнечные линии.

Комплексные системы успешно интегрируются с основным кузнечным оборудованием, обеспечивая стабильную и надёжную работу. Внедрение данных комплексов позволяет предприятиям перейти на автоматизированные процессы ковки.

Интеллектуальные линии кольцепрокатки используются для различных отраслей промышленности, обеспечивают надёжность, мощность, точность и эффективность эксплуатации. Оборудование рассчитано на длительную непрерывную работу с высокими нагрузками, обеспечивая высокую точность формообразования поковок. Сочетание автоматизации и интеллектуального планирования позволяет существенно повысить производительность кузнечных линий.



Компания реализовала две флагманские производственные линии — для фланцев и для подшипниковых колец.

Линия по производству фланцев полностью автоматизирована и обеспечивает серийный выпуск.

Линия для подшипниковых колец использует технологию прокатки с сервозамкнутым управлением, что гарантирует высокую точность и отличную повторяемость размеров в партиях.

Данные решения уже внедрены у ряда ведущих отечественных и зарубежных производителей.

Крупные кольцепрокатные линии предназначены для производства сверхгабаритных колец для ветроэнергетики и поворотных опор и отличаются высокой стабильностью при больших нагрузках.

Линии для ходовых частей строительной техники используют технологию ротационной ковки при изготовлении звёздочек гусеничных шасси, улучшает качество и сокращает расход материала. Несколько таких линий уже успешно работают на ведущих предприятиях отрасли.



Инновации являются ключевым направлением развития предприятия. Опираясь на собственные технологические наработки совместно с научными и образовательными учреждениями, компания решает сложные задачи кузнечного производства. Компания имеет 51 патент и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, ведёт совместную работу с Центрально-Южным, Шанхайским и Тайюаньским университетами в области автоматизации оборудования и технологий кольцепрокатки, улучшает технологическую базу в сегменте высококачественного кольцепрокатного оборудования.

На сегодняшний день компания поставила заказчикам более 700 единиц оборудования. Основные модели успешно работают на многих предприятиях. География поставок охватывает все регионы Китая, а также зарубежные страны.

УДК 621.735.3: 519.92

ПОСТРОЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА УДЛИНЕННЫХ ПОКОВОК

Сосенушкин Е.Н., Яновская Е.А.
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Аннотация

При автоматизированной классификации оперируют не с самим объектом, а с некоторым понятием, связанным с признаками исследуемого объекта. Признаки условно делятся на детерминированные, вероятностные и структурные, совокупность которых определяет признаковое *n*-мерное евклидово гиперпространство. Для описание сложных объектов, каковыми являются машиностроительные детали, используют набор из конструктивно-технологических признаков, характеризующих форму детали. Эффективно использование не всех признаков, достоверно описывающих объект, а лишь наиболее информативных, т.е. тех, которые являются определяющими для дальнейших процедур классификации.

Ключевые слова: детали, геометрическая форма, классификационные признаки, алгоритмы распознавания.

Development of a Local Classifier for Elongated Forgings

E.N. Sosenushkin, E.A. Yanovskaya

MSTU STANKIN

Abstract. Automated classification operates not on the object itself, but on a concept associated with the characteristics of the object being studied. These characteristics are conventionally divided into deterministic, probabilistic, and structural, the totality of which defines an n-dimensional Euclidean hyperspace. To describe complex objects, such as mechanical engineering parts, a set of design and technological features characterizing the part's shape is used. It is effective to use only the most informative features, i.e., those that are decisive for subsequent classification procedures, rather than all features that reliably describe the object.

Keywords: parts, geometric shape, classification features, recognition algorithms.

В системе подготовки производства объектов

машиностроения, в частности поковок, важны следующие этапы:

- анализ номенклатуры деталей по их конструкторско-технологическим характеристикам;

- группирование деталей по конструкторско-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов с использованием ЭВМ;

- унификация и стандартизация деталей и технологических процессов их изготовления;

- рациональный выбор типов технологического оборудования;

- автоматизация проектирования деталей и технологических процессов их изготовления.

Метод построения классов деталей основан на дедуктивном делении классифицируемого множества на подмножества (от общего к частному) по подчиненным (соподчиненным) признакам - иерархический метод классификации. Этим достигается конкретизация признаков деталей на каждой последующей ступени классификационного деления, что обеспечивает создание четкого распознавательного образа для тематического

поиска детали.

В табл. 1 приведены критерии, множества, цели и методы обучения, задействованные в решении классификационных задач.

Согласно технологического классификатора [1] в статье используется классы: класс 71 - детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.; 74 - детали - не тела вращения: плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы.

При классификации использованы следующие основные признаки: "геометрическая форма", "функциональный", "параметрический", "конструктивный", "служебного назначения", "наименование".

Таблица 1

Критерий	Класс	Кластер
Определение	Категория, к которой объект	Группа, сформированная в

Критерий	Класс	Кластер
	относится по заранее заданным правилам или меткам	процессе анализа данных на основе сходства объектов
Наличие меток	Метки (классы) известны заранее	Метки не заданы, они выявляются в ходе анализа
Цель	Отнести новые объекты к известным категориям	Выявить структуру в данных, сгруппировать объекты
Метод обучения	Обучение с учителем	Обучение без учителя (неконтролируемое обучение)

В технологическом классификаторе [1] деталей установлены следующие признаки классификации деталей: "размерная характеристика", "группа материала", "вид детали по технологическому методу изготовления",

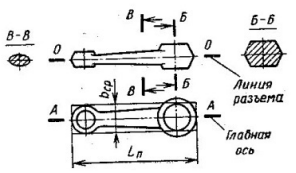
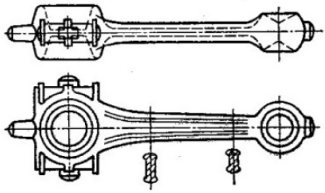
"вид исходной заготовки".

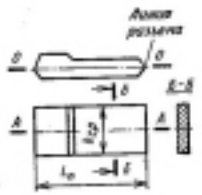
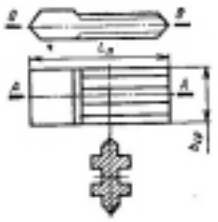
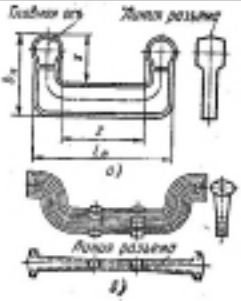
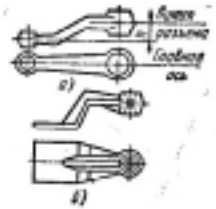
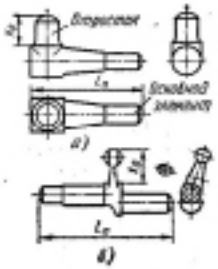
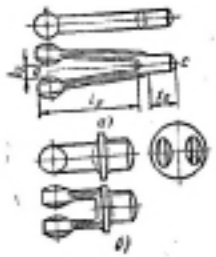
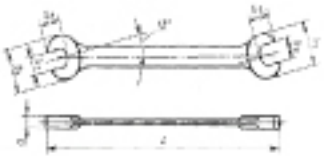
Рассматривая основные варианты технологии пластического деформирования, убеждаемся в том, что при формоизменении заготовки ее металл приобретает геометрию инструмента.

В частном случае удлиненных в плане поковок их геометрическую форму отражает проекция на плоскость, параллельную продольной оси детали, и дополнительные сечения в местах изменения формы. Локальные классификаторы таких поковок, ориентированных на изготовление на различном оборудовании представлены в табл. 2 и табл. 3 [2].

Таблица 2

Фрагмент классификации молотовых поковок

Группа 1. Поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (плашмя)		
Подгруппа 1		

Подгруппа 2		
Подгруппа 4		
Подгруппа 5		
Подгруппа 6		
Группа 2. Поковки, штампуемые вдоль оси заготовки (осадкой в торец)		

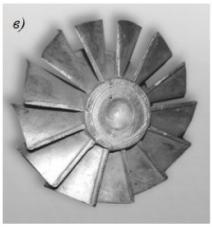
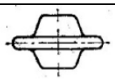
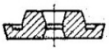
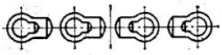
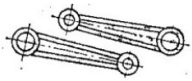
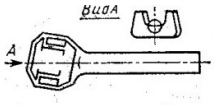
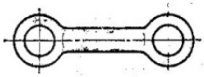
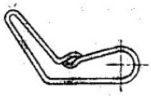
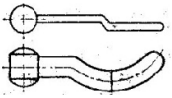
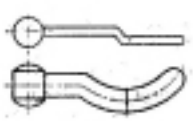
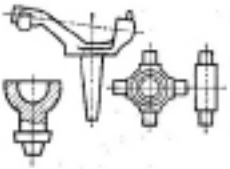
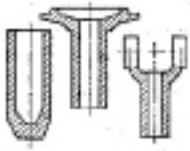
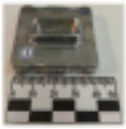
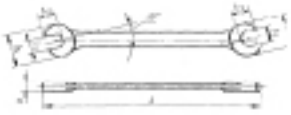
Подгруппа 1		
Примечание: подгруппа 6 и группа 2 добавлена авторами		

Таблица 3

Фрагмент классификации поковок, штампуемых на КГШП

Группа	Подгруппа		
	1	2	3
I			
II			
III			
IV			

V			
VI	 		
Примечание: группа VI добавлена авторами			

Поковки, штампуемые на гидравлических прессах, представляют собой оребрённые панели (рис. 1).



Рис. 1. Сварное кольцо, изготовленное сверткой панели с ребрами

Примеры показывают, что классификация базируется на описании наружных и внутренних поверхностей поковок конструктивными признаками, которые позволяют идентифицировать достаточно сложную форму, однако для обеспечения возможности применения технологической оснастки с теми или иными особенностями, набор признаков должен содержать

конструктивные признаки элементов поковки [3], в том числе количественные признаки в виде размерных характеристик поковки, а также технологические признаки. Наличие в наборе абсолютных значений размеров поковок позволяет классифицировать их по типоразмерам и технологическим особенностям, которые могут быть важны при проектировании штампового инструмента. Безразмерные характеристики в виде относительных или приведенных размеров поковок позволяют провести классификацию топологии независимо от масштабного фактора, что обеспечит возможность инвариантных технологических решений. Приведенные рассуждения не противоречат действующему технологическому классификатору [1].

В общем случае для описания типового размерного поля поковки потребуется k признаков. В результате подробного анализа топологии типовых поковок установлено, что достаточно сложное сечение или проекция поковки на плоскость разъема штампа могут быть описаны 8-ю признаками с размерным полем вида [3]:

$$R = \{x_1, x_2, \dots, x_8\}, \quad (1)$$

где x_i– абсолютные размеры конструктивных элементов поковки, включая габариты, используемые в качестве начальных данных, на основе которых рассчитываются относительные или приведенные безразмерные характеристики.

При проведении технологической подготовки производства поковок предпроектные исследования включают определение таких рассчитываемых технологических характеристик деталей, необходимых для проектирования чертежа поковки, как объем детали V, периметр характерного сечения или проекции P и площадь, ограниченная внешним контуром F, а также масса расчетной поковки и степень сложности детали Φ, а также марка материала детали M. Одной из важных характеристик стальных деталей является химический состав, а именно процентное содержание углерода и легирующих элементов. Дополнительно в набор признаков материала должны быть включены механические характеристики: относительное сужение образца при стандартных испытаниях на растяжение Ψ, % и сопротивление деформированию при температуре обработки σ_s^t, МПа.

В результате проведенного анализа установлено, что формализованное описание конкретной детали представляется*n*-мерным вектором, компоненты которого содержат конструктивно-технологические признаки:

$$\overline{X} = \{\overline{T}, \overline{R}, P_\delta, F_\delta, V, \Phi, \psi, \sigma_в\}. \quad (2)$$

С помощью разработанных универсальных методов отбора конструктивно-технологических признаков и на их основе формирования априорного набора, на этом этапе избыточного, но общего для всех деталей одного класса, осуществляется возможность перехода от визуального отображения анализируемых деталей чертежами к их формализованному представлению векторами с количеством компонентов n, отображаемыми в евклидовом гиперпространстве. На основе информации априорного набора признаков решаются как классификационные задачи, так и задачи проектирования типовой технологии пластического деформирования. Однако работа с данными, имеющими большое количество разрядов затруднена: этапы подготовки занимает много времени и не исключены ошибки, а обработка также связана с увеличением как времени вычислений, так и объема оперативной памяти компьютера. Поэтому

возникает и требует решения задача минимизации размерности признакового пространства.

Как показал анализ математических методов определения информативности признаков, математический аппарат [4], в основе которого лежит концепция дивергенции, является наиболее универсальным инструментом оценки полной средней информации, разделяющей классы φ_i и φ_j:

$$J_{ij} = I(i,j) + I(j,i) = \int_{\overline{X}} \left[p_i(\overline{X}) - p_j(\overline{X})\right] U_{ij}\, d\overline{X}, \qquad (3)$$

где $p_i(\overline{X})$ и $p_j(\overline{X})$ - плотности вероятностей распределения классов образов φ_iи φ_j; логарифмы отношения правдоподобия U_{ij} и U_{ij}содержат информацию, отличающую класс φ_iот класса φ_j и наоборот классφ_j от класса φ_i:

$$U_{ij} = ln\left[\frac{p_i(\overline{X})}{p_j(\overline{X})}\right]; \qquad U_{ji} = ln\left[\frac{p_j(\overline{X})}{p_i(\overline{X})}\right]. \qquad (4)$$

Средняя различающая информация для класса φ_i определяется выражением

$$I(i,j) = \int_{\overline{X}} p_i(\overline{X}) U_{ij}\, d\,\overline{X}, \qquad (5)$$

а для класса φ_j определяется соответственно аналогичным интегралом $I(j,\ i)$.

В качестве критерия минимальной вероятности (6) классификационной ошибки при определении принадлежности образа $\overline{X}$ классу φ_i для всех $j \neq i$ используется выражение:

$$p(\varphi_i)p(\overline{X}|\varphi_i) > p(\varphi_j)p(\overline{X}|\varphi_j).$$

При совпадении вероятности появления образов двух рассматриваемых классов разделяющая граница может быть определена соотношением :

$$p_i(\overline{X}) = p_j(\overline{X}). \qquad (7)$$

Следствие. Вид классификации можно определить по знаку одного из выражений (4), например первого, представляющего собой функцию Байеса, которая выбрана в качестве дискриминантной.

Обозначим α(α=0 – правильное решение,α=1 – ошибка классификации) двоичную функцию потерь. Тогда, при условии распределения признаков по нормальному закону [4], неправильная классификация образа,

принадлежащего классу φ_j, оценивается вероятностью:

$$p(u_{ij} > \alpha|\varphi_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \int_{\alpha}^{\infty} e^{\left[-\frac{\left(u_{ij}+\frac{1}{2}r_{ij}\right)^2}{2r_{ij}}\right]} du_{ij} = 1 - \Phi\left(\frac{\alpha + \frac{r_{ij}}{2}}{\sqrt{r_{ij}}}\right), \quad (8)$$

аналогично, вероятность неправильной классификации образа, принадлежащего классу φ_i, равна:

$$p(u_{ij} < \alpha|\varphi_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r_{ij}}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{\left[-\frac{\left(u_{ij}-\frac{1}{2}r_{ij}\right)^2}{2r_{ij}}\right]} du_{ij} = \Phi\left(\frac{\alpha - \frac{r_{ij}}{2}}{\sqrt{r_{ij}}}\right), \quad (9)$$

где расстояние Махаланобиса[4] между плотностями вероятностей классов φ_i и φ_j:

$$r_{ij} = \left(\overline{m}_i - \overline{m}_j\right)^T [C]^{-1} \left(\overline{m}_i - \overline{m}_j\right);$$

m_i, m_j - векторы средних значений признаков; $[C]$ - матрица ковариаций;

функция Лапласа:

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{\xi} e^{-\frac{y^2}{2}} dy;$$

стандартное отклонение случайной величины $\overline{x}$;

$$y = \frac{\overline{x} - \overline{m}}{\sigma};$$

σ- среднеквадратичное отклонение соответствующего признака.

При этом вероятность ошибки распознавания будет определяться соотношением:

$$p(e) = p(\varphi_i)p(u_{ij} < \alpha|\varphi_i)p(\varphi_i)p(u_{ij} > \alpha|\varphi_i) =$$
$$= p(\varphi_i)\Phi\left(\frac{\alpha - \frac{r_{ij}}{2}}{\sqrt{r_{ij}}}\right) + p(\varphi_j)\left[1 - \Phi\left(\frac{\alpha + \frac{r_{ij}}{2}}{\sqrt{r_{ij}}}\right)\right].$$

При равных априорных вероятностях появления классов двоичная функция потерь примет значение $\alpha = 0$, вероятность ошибки распознавания определится выражением:

$$p(e) = \frac{1}{2}\Phi\left(-\frac{1}{2}\sqrt{r_{ij}}\right) + \frac{1}{2}\left[1 - \Phi\left(\frac{1}{2}\sqrt{r_{ij}}\right)\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{1}{2}\sqrt{r_{ij}}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (11)$$

При равенстве ковариационных матриц $[C]_i = [C]_j$ расстояние Махаланобиса примет значение $r_{ij} = J_{ij}$, т.е. дивергенция становится метрикой при разделении двух классов. Вероятности ошибки распознавания зависит от расстояния Махаланобисаr_{ij}, и выражается плотностью одномерного нормального распределения с нулевым средним и единичной дисперсией [3]. Графически эта зависимость представляет собой монотонно убывающую функцию [3, 4], приведенную на рис. 2. Вероятность ошибочной классификации не превышает 5%, при расстояниях Махаланобиса$r_{ij} > 11$, поэтому, ограничив вероятность ошибки классификации, решают задачу поиска минимального числа признаков, не ухудшающих качество классификации.

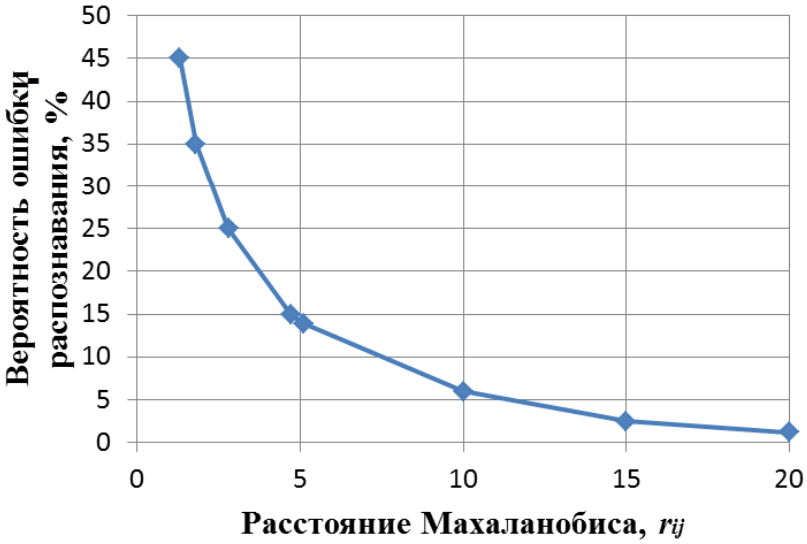


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки распознавания от величины расстояния Махаланобиса

Использование концепции дивергенции предоставляет возможность одновременного решения двух задач по упорядочиванию и выбору информативных признаков, а также по разделению образов на классы, при сведении к минимуму ошибок классификации.

Алгоритм формирования информативного набора признаков и классификации образов объектов неканонической формы

На примере случайно выбранного признака, представляющего собой степень сложности Ф (ГОСТ 7505-89 [5]) деталей рассматриваемой выборки, проведен численный эксперимент с использованием критерия согласия Пирсона χ^2 [6]. Результаты расчетов оформлены в виде гистограммы, представленной на рис. 3.

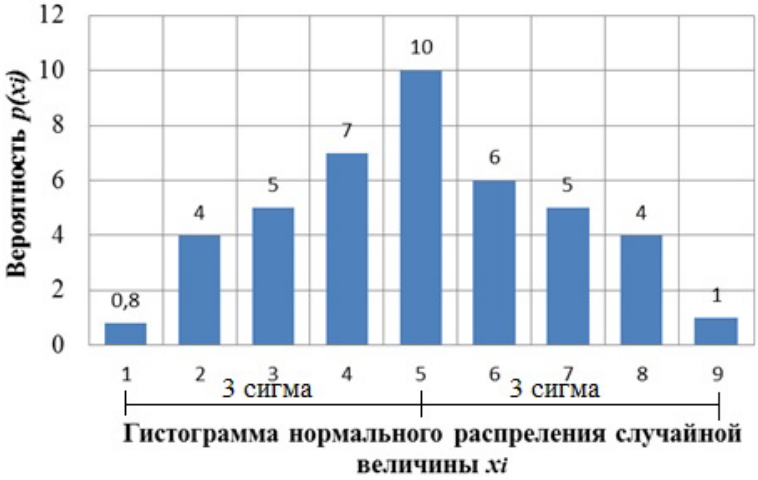


Рис. 3. Распределение для случайной величины x_i

Плотности вероятности распределения деталей определяются математическими ожиданиями $\overline{m_i}$, $\overline{m_j}$ и соответствующими ковариационными матрицами $[C_i]$ и $[C_j]$ размерностью $n \times n$ (n – размерность вектора признаков). В соответствии с [6], математические ожидания признаков

определяются вектором [3]:

$$\overline{m} = \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{X}\, p(\overline{X}) d\overline{X}. \qquad (12)$$

«Ковариационная матрица некоторого класса $[C]$ является симметричной и положительно полуопределенной. Элемент C_{lk}, не стоящий на диагонали матрицы, представляет собой ковариацию признаков x_l и x_k (центральный момент второго порядка). Определитель ковариационной матрицы $|C|$ назван обобщенной дисперсией n-мерного распределения [3, 6, 7]. Кроме того, установлено, что распределение аппроксимируется нормальным законом с вероятностью 0,95, при этом мера расхождения χ^2 имеет случайный характер с вероятностью $p(\chi^2) = 0{,}23$.

На основе разработанного метода составлен пошаговый алгоритм, обеспечивающий формализацию и выполнение этапов минимизации количества признаков и классификации осесимметричных деталей. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 4, который реализован в виде программы для ЭВМ [8], зарегистрированной в Роспатенте.

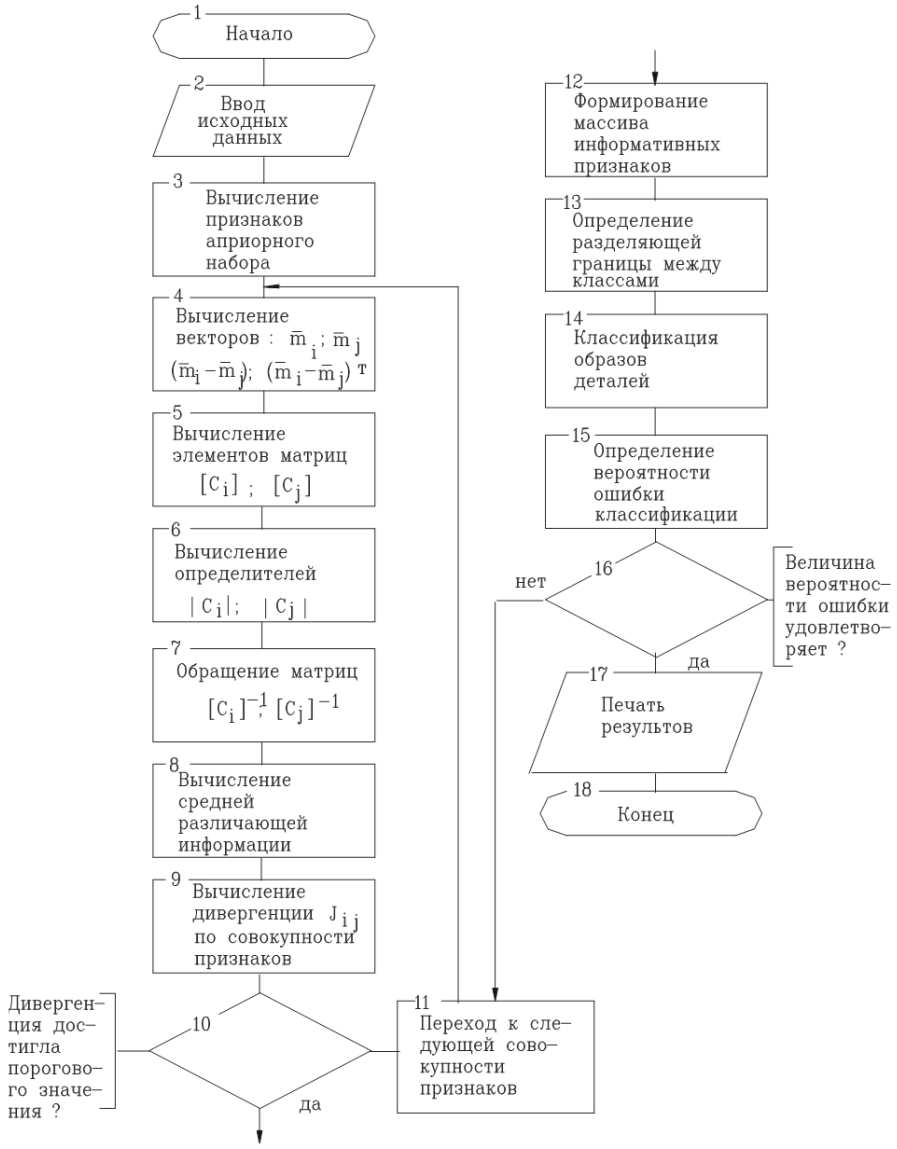


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения информативных признаков и классификации деталей

Исходными данными для расчетов являются бинарные значения логических переменных, а также абсолютные значения конструктивно-технологических признаков. Численные значения относительных признаков априорного набора определяются в процессе вычислений. После создания априорного набора признаков для всех деталей выборки управление передается блокам 4, 5 с помощью которых проводится вычисление средних значений признаков, действия над ними и определение элементов ковариационных матриц классов φ_i и φ_j. Ход расчетов следующий.

Если признаки являются статистически независимыми, то элемент ковариационной матрицы $C_{lk} = 0$, а поверхности равных плотностей вероятностей в пространстве описываются гиперсферами.

Образы деталей, распределение признаков которых подчиняются нормальному, закону, проявляют тенденцию к образованию одного класса, центр которого определяется вектором средних значений, а форма – ковариационной матрицей $[C]$ [6].

Если зависимость между исследуемыми признаками функциональная, то линии равных плотностей будут

прямыми. В этом случае классы деталей пересекаться не будут [3]. Элементы соответствующей ковариационной матрицы рассчитывают с помощью соотношения [4]:

$$C_{lk} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x_l - m_l)\,(x_k - m_k) p(x_l, x_k) dx_l dx_k, \qquad (13)$$

где x_l, x_k и m_l, m_k – компоненты векторов образов и их математические ожидания соответственно; C_{ll} – диагональный элемент матрицы, являющийся дисперсией l –ой компоненты вектора $\overline{X}$.

При аппроксимации математического ожидания выборочным средним значением, вектор средних значений признаков и ковариационную матрицу получим в следующем виде [3, 6]:

$$\overline{m}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} \overline{X}_{ij}, \qquad (14)$$

$$[C_i] = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \left(\overline{X}_{ij}\, \overline{X}_{ij}^T - \overline{m}_i \overline{m}_i^T \right), \qquad (15)$$

где N_i – количество образов деталей в классе φ_i; $\overline{X}_{ij}$ - j –й образ детали класса φ_i.

В этом случае плотности нормального

распределения классов определяются как [4]:

$$p_i(\overline{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}|C_i|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\overline{X}-\overline{m}_i)^T[C_i]^{-1}(\overline{X}-\overline{m}_i)}, \qquad (16)$$

$$p_j(\overline{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}|C_j|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\overline{X}-\overline{m}_j)^T[C_j]^{-1}(\overline{X}-\overline{m}_j)}. \qquad (17)$$

Вычисление определителей ковариационных матриц и обращение этих матриц является следующим этапом работы алгоритма. Эти функции выполняют блоки 6, 7.

Значением логарифма правдоподобия определяется средняя различающая информация. При подставке в формулу (4) соответствующих значений плотностей нормального распределения (16 и 17), после необходимых преобразований получим соотношение:

$$U_{ij} = \frac{1}{2} ln \frac{|C_j|}{|C_i|} - \frac{1}{2} tr\left\{[C_i]^{-1}(\overline{X}-\overline{m}_i)(\overline{X}-\overline{m}_i)^T\right\} + \\ + \frac{1}{2} tr\left\{[C_j]^{-1}(\overline{X}-\overline{m}_j)(\overline{X}-\overline{m}_j)^T\right\}. \qquad (18)$$

Среднюю различающую информацию для классов φ_i и φ_{ij}, вычисляемую блоком 8 алгоритма, можно представить функцией:

$$I(i,j) = \frac{1}{2} ln \frac{|C_j|}{|C_i|} - tr\left\{[C_i]\left([C_j]^{-1} - [C_i]^{-1}\right)\right\} + \\ + \frac{1}{2} tr\left\{[C_j]^{-1}(\overline{m}_i - \overline{m}_j)(\overline{m}_i - \overline{m}_j)^T\right\} \quad (19)$$

Далее с помощью блока 9 алгоритма можно вычислить значение дивергенции:

$$J_{ij} = \frac{1}{2} tr\left\{([C_i] - [C_j])\left([C_j]^{-1} - [C_i]^{-1}\right)\right\} + \\ + \frac{1}{2} tr\left\{\left([C_i]^{-1} + [C_j]^{-1}\right)(\overline{m}_i - \overline{m}_j)(\overline{m}_i - \overline{m}_j)^T\right\}, \quad (20)$$

Среди многочисленных свойств дивергенции, по меньшей мере одно - аддитивность, понадобится нам для анализа априорного набора признаков для оценки количества различающей информации, присущей каждому признаку. При сравнении численных значений дивергенции, связанных с относительной важностью признаков, они выстраиваются в порядке убывания значений дивергенции. В рабочий набор отбираются признаки с большими значениями дивергенции. Количественный состав зависит от значения вероятности ошибки классификации (10), опосредовано связанного с

дивергенцией. За сравнение порогового значения дивергенции с вычисленным отвечает блок 10 алгоритма. В данном случае за пороговое значение дивергенции принималось значение равное 90, т.к. вероятность ошибки классификации уменьшается (см. рис. 2) и не превышают 1% при увеличении расстояния Махаланобиса, а значит и дивергенции.

Следующим этапом работы алгоритма является формирование по всем деталям, участвующим в классификации, массива численных значений признаков, отобранных в рабочий набор. Эти функции возложены на блок 12 алгоритма.

Поскольку уравнение (18), включающее сумму линейных и квадратичных членов, определяет вид разделяющей поверхности между классами в информативном признаковом пространстве, то выборочные точки поверхности определяются блоком 13, и устанавливается принадлежность деталей классам φ_i или φ_j с помощью блока 14. Блок 15 ответственен за вычисление вероятности ошибки классификации и передачу его блоку 16 для сравнения рассчитанной величины с пороговым значением, определяющим

качество классификации. Расчеты проводятся согласно уравнению (11). Если качество классификации неудовлетворительно, то рассматривается очередная совокупность признаков. После обработки всех деталей выборки алгоритм заканчивает работу. Эта часть алгоритма классификации доведена до программной реализации [9].

Переход от графического представления деталей соответствующими чертежами к их образам в векторном представлении отображена структурной схемой на рис. 5.

С появлением более совершенных алгоритмов искусственного интеллекта, таких как нейронные сети [10-13], с возможностью их обучения на основе использования генетических алгоритмов, решение задач автоматической классификации различных объектов перешло на новый уровень развития. Остаётся открытым вопрос автоматической классификации объектов с помощью нейросетевых алгоритмов, включающих этап обучения нейросети по репрезентативным выборкам и собственно этап классификации.

По аналогии с визуальным анализом объектов классификации нейросети необходимо представить

информативные изображения, например, проекционные виды в принятом масштабе, а это не что иное, как чертеж детали: в общем виде 3 проекции и дополнительные сечения. В случае сложных форм деталей машиностроения обучать нейросеть необходимо на 3D моделях классифицируемых объектов.

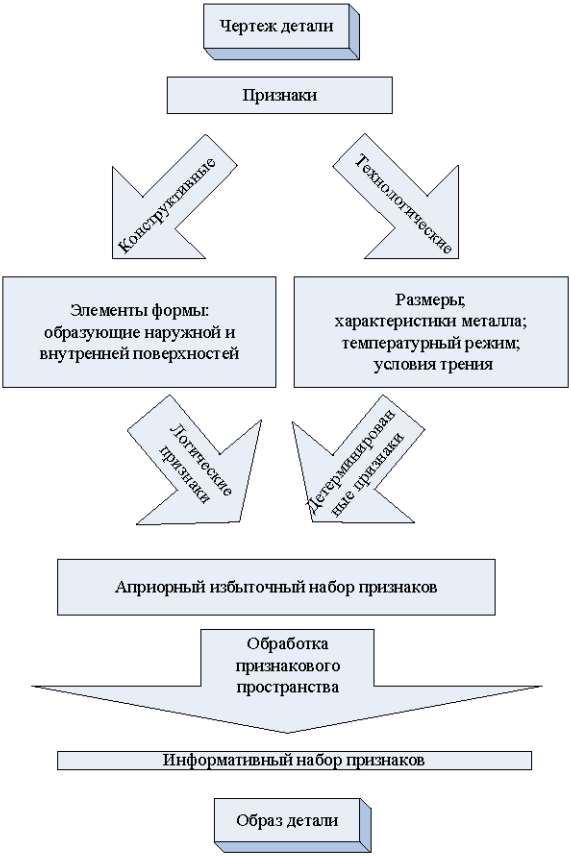


Рис. 5. Переход к векторной форме описания детали

На один из реализованных алгоритмов обучения нейросети с последующей обработкой больших массивов данных получено свидетельство №2025613949 о регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности Роспатент [14].

Выводы

1. Для разделения удлиненных деталей на классы разработана методика описания объектов классификации набором информативных признаков, что позволяет перейти от чертежей к формализованному описанию деталей.

2. Выбранный математический метод распознавания и основанный на нем алгоритм доведен до программной реализации, что позволяет в автоматическом режиме отнести исследуемые объекты к заранее заданным классам.

Литература

1. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М., Издательство стандартов, ч. I, 1974, ч. II, 1976.

2. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х томах/ Ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1986. Т.2. Горячая штамповка/ Под ред. Е.И. Семенова, 1986. 592 с

3. Сосенушкин, Е. Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки/ Е.Н. Сосенушкин. М.: Машиностроение, 2011. 480 с.

4. Ту Дж. Принципы распознавания образов/ Дж. Ту, Р. Гонсалес. М.: Мир, 1978. 411 с.

5. ГОСТ 7505.89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и напуски. М.: Изд-во Стандартов, 1990. 52 с.

6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. М.: Наука, 1964. 576 с.

7. Барабаш, Ю.Д. Вопросы статистической теории распознавания образов/ Ю.Д. Барабаш. М.: Советское радио, 1967. 400 с.

8. Свидетельство № 2021618781 о гос. Рег. программы SOVM для ЭВМ. Опубл. 01.06.2021. Реестр программ для ЭВМ, 2021. 1с. https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2021618781&TypeFile=html.

9. Свидетельство №2021618779 о гос. Рег. программы GRGUP для ЭВМ, опубликованное 01.06.2021. Реестр программ для ЭВМ, 2021. 1с. https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet? DB=EVM&DocNumber=2021618779 &TypeFБарабашile=html.

10. Вакуленко, С.А. Практический курс по нейронным сетям/ С.А. Вакуленко, А.А. Жихарева. СПб.: Университет ИТМО, 2018. 71 с.

11. Клочкова, К.В. Реализация автоматизированной системы интеллектуальной поддержки принятия решений для обеспечения требуемых свойств на примере изделия из чугуна с вермикулярным графитом/ К.В. Клочкова, Л.А. Симонова, Е.Н. Сосенушкин и др.// Научно-технический вестник Поволжья. 2020. №4. С.33-36.

12. Сосенушкин, Е. Н. Применение методов искусственного интеллекта для компьютерного моделирования фрактальных поверхностей / Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская, А. С. Желнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 1(117). – С. 109-115.

13. Сосенушкин, Е. Н. Компьютерное моделирование фрактальных поверхностей, построенных с использованием методов искусственного интеллекта для прогнозирования износа / Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская, А. С. Желнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 4(120). – С. 143-149.

14. Свидетельство № 2025613949 о гос. рег. программы нейросетевой модели для обработки больших данных. Опубл. 18.02.2025. Бюл. 2. Открытые реестры ФИПС. Реестр программ для ЭВМ, 2025. 1 с. https://www.fips.ru/registersdociew/fips_servlet?DB=EVM&rn=9384&DocNumber=2025613949&TypeFile=html.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЯЗАНСКОГО ПАО «ТЯЖПРЕССМАШ»
Клинов А.А. – генеральный директор,
Сорокин В.А. – главный инженер,
Петров Н.П. – заместитель главного инженера по КС, главный конструктор,
ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань.....11

ПРЕСС БРИКЕТИРОВОЧНЫЙ УСИЛИЕМ 60 МН ДЛЯ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ СПЛАВОВ ТИТАНА, ЦИРКОНИЯ, ГАФНИЯ И НИОБИЯ
Марков Д.Г. – к.т.н., главный конструктор проекта
ООО «Тяжпрессмаш – УРАЛ», г.Екатеринбург.....15

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭТАПАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНТАЖА
Кравцов Н.С. – ведущий инженер,
Сурков А.И. – инженер,
ООО «Надёжность ТМ», Москва.....24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОРТАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКИ ПРИ МОНТАЖЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ
Козичко В.А. – главный инженер проектов «100 тонн Промышленный такелаж», г.Екатеринбург.....35

ИССЛЕДОВАНИЕ КИТАЙСКО-РОССИЙСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ТЯЖЕЛОМУ КУЗНЕЧНОМУ

ОБОРУДОВАНИЮ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА ПОСТАВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ НА БАЗЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОВОЧНОГО ПРЕССА УСИЛИЕМ 31,5 МН
Чжэ Чен – главный инженер,
Хуэйюань Го – помощник по международным делам,
SINOBERUN Heavy Industry Tech. Co., Ltd.
(завод тяжелого машиностроения),
г.Сиань, провинция Шэньси, Китай.....44

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ВЫПУСКАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ LANZHOU LS HEA VY INDUSTRY CO., L TD. «ЛАНЬШИ ТЯЖМАШ».....60

QFORM – ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Гладков Ю.А. – директор по развитию и продажам
ООО «КвантворФорм», к.т.н, доцент кафедры МТ-6
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва.....67

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КРЕПЁЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ
Посалина А.Е.,
Юдаев Ю.А.,
Асаев А.С.,
Паршин А.Н.,
Давыдов А.П.,
Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г.Рязань.....91

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ И ДРУГИХ МЕТИЗОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕМОНТА ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Осадчий Д.К. – директор по развитию предприятия, ООО «УК «Кузбасстрансмет», г.Новокузнецк.....103

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ, ПОЛЫХ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ СЛИТКОВ И ПРОКАТАННЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК НА УЧАСТКАХ СВОБОДНОЙ КОВКИ
Хориков С.М. – главный металлург, ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань.....120

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОЩНОСТИ ПАО «ТЯЖПРЕССМАШ»
Новиков Д.В. – главный технолог, ПАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань.....129

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ «ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
Лавриненко В.Ю. – д.т.н., заведующий кафедрой «Технологии обработки материалов» Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва.....143

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Петров А.Н. – Московский Политехнический Университет,
Петров П.А. – Московский Политехнический Университет,
Петров М.А. – Московский Политехнический Университет,
Аюпов Т.Х. – АО «ММЗ «Авангард», Москва,
Мизера С.В. – ООО «Коллоидно-графитовые препараты», г.Воскресенск.....152

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В РАЗРАБОТКЕ, ИЗГОТОВЛЕНИИ И СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Жигунов А.Е. – технический директор,
АО Машиностроительная компания «Теплохиммонтаж – Пром.печи»,
Белгородская обл, г.Старый Оскол.....175

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ПЕРЕПЛАВ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАСКАТНЫХ КОЛЕЦ И ПОКОВОК
Фатьянов Д.С.
ООО «Завод кольцевых заготовок», г.Омск.....180

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА ВЫТЯЖКУ ДЕТАЛЕЙ С ДВОЙНЫМИ ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ПОЛОСТЯМИ
Евсюков С.А. – д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Технологии обработки давлением»,
Майстров Ю.В. – заведующий лабораторией кафедры «Технологии обработки давлением»,
Гу Цзявэй, Лян Чаоцюнь – аспиранты кафедры «Технологии обработки давлением»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва.....185

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ КРЫШКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AUTOFORM
Тараканов А.В,
Демин В.А.,
Евсюков С.А.,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва.....192

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ШТАМПОВОЧНОЙ ВАЛЬЦОВКИ ПОКОВКИ «ГАЕЧНЫЙ КЛЮЧ»
Рогулин С.А. – аспирант кафедры СПД,
Сосенушкин Е.Н. – д.т.н., профессор,
зав. кафедрой композиционных материалов,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва.....208

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ШТАМПОВОЧНЫХ БЕСШАБОТНЫХ МОЛОТОВ
Сосенушкин Е.Н. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва.....221

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ2 ПРИ ПРОКАТКЕ С ЧЕРЕДОВАНИЕМ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОХОДОВ
Шаталов Р.Л. – д.т.н., профессор,
Бибик П.Ю. – аспирант,
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»,
Медведев В.А. – к.т.н., инженер,
Богородский филиал АО «НПО «Прибор», г.Ногинск.....239

РАБОТЫ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ГИДРОСИСТЕМ
И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПРЕССОВ,
ВЫПОЛНЕННЫЕ В ООО «УРАЛЬСКИЙ
ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР»
В ПЕРИОД ПОСЛЕ 2022 ГОДА
Бодров В.В. — к.т.н., директор по стратегическому развитию,
Багаутдинов Р.М. — генеральный директор,
Батурин А.А. — к.т.н., главный инженер,
Гойдо М.Е. — к.т.н., главный инженер проектов,
Важенин А.А. — главный конструктор,
Талалушкин Е.В. — ведущий конструктор,
Шляпин Е.А. — ведущий конструктор,
ООО «Уральский инжиниринговый центр»,
г.Челябинск.....250

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ МНОГОВАЛКОВЫХ СТАНОВ ПРОКАТКИ ТОНЧАЙШЕЙ ЛЕНТЫ
Асаев А.С. — д.т.н., заместитель директора филиала по научной работе и цифровому развитию,
Аверин Н. В. — старший преподаватель,
Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического университета,
Татарников Н.Н. — начальник бюро автоматизации отдела ИАСУ, АО «ГРПЗ», г.Рязань.....262

МОЩНЫЕ БЕСШАБОТНЫЕ МОЛОТЫ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ РОССИИ
Шрамков С.И. – заведующий отделом Конструкторско-технологического филиала Института гидродинамики имени М.А. Лаврентьева СО РАН, г.Новосибирск.....273

ЦИФРОВОЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ КНР «ЛУНГ ЯН МАШИНЕРИ»
Иванов А.Ю. – руководитель направления кузнечно-прессового оборудования,
компания «Лунг Ян Машинери», Москва.....278

ПОСТРОЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА УДЛИНЕННЫХ ПОКОВОК
Сосенушкин Е.Н. – д.т.н., профессор, зав. кафедры систем пластического деформирования
Яновская Е.А. – к.т.н., доцент кафедры прикладная математика
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва.....286