



Журнал индексируется системами РИНЦ и Google Scholar.
Сведения о журнале публикуются в международной системе «Ulrich's Periodicals Directory»

Редакционная коллегия

Главный научный редактор

Корчунов А.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Заместитель главного научного редактора

Анцупов В.П. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Бобарикин Ю.Л. – «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», доцент, кандидат технических наук, г. Гомель, Республика Беларусь.

Горбатюк С.М. – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», профессор, доктор технических наук.

Кузьминов А.Л. – «Череповецкий государственный университет», профессор, доктор технических наук.

Раскатов Е.Ю. – «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук.

Трофимов В.Н. – «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук.

Ответственный редактор

Слободянский М.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», доцент, кандидат технических наук.

Журнал основан в 2012 г.
Периодичность выхода – 2 номера в год.

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. К. Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
издательский центр.

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии.

Выход в свет 24.09.2021. Заказ 238.
Тираж 300 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

А.М. Милюкова, А.В. Алифанов Магнитно-импульсные технологии получения и упрочнения металлических деталей	3	A.M. Milyukova, A.V. Alifanov Magnetic pulse technologies for manufacturing and strengthening metallic parts	3
А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, М.П. Барышников, О.Д. Бирюкова, А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, Д.В. Грачев Возможности стана 400 асимметричной прокатки и роботизированного комплекса КУКА 160	9	A.M. Pesin, D.O. Pustovoytov, M.P. Baryshnikov, O.D. Biryukova, A.E. Kozhemyakina, L.V. Nosov, D.V. Grachev Functionality of asymmetric rolling mill 400 and KUKA 160 robotic complex	9
М.П. Шишкарев Синтез адаптивной фрикционной муфты с положительно-отрицательной обратной связью	14	M.P. Shishkarev Synthesis of an adaptive friction coupling and a positive-negative feedback coupling	14
М.В. Уланов, О.А. Филатова Совершенствование гидравлической схемы привода противоизгиба рабочих валков четырехклетьевого стана 2500	21	M.V. Ulanov, O.A. Filatova Improving a hydraulic drive configuration of work roll bending on four-high mill 2500	21
Т.В. Бровман Энергосиловые параметры вдавливания в заготовку цилиндрического и прямоугольного пуансонов	26	T.V. Brovman Energy parameters of indenting cylindrical and rectangular forming dies into blanks	26
А.А. Дерябин Методики проектирования промышленных изделий с учетом жизненного цикла продукции	32	A.A. Deryabin Techniques for designing industrial parts, factoring into a life cycle of products	32



УДК 669.2.017:620.18

А.М. Милюкова, А.В. Алифанов
Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: annart@mail.ru
Дата поступления 27.04.2021

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация

Магнитно-импульсные технологии играют важную роль в изготовлении и упрочнении поверхности высококачественных деталей из металлических и неметаллических материалов. Разработанное оборудование и технологии позволяют не только штамповать, упрочнять детали, но и соединять металлические материалы с различными механическими, физическими или химическими свойствами, что обеспечивает получение легких конструкций, высокопрочных деталей и экономию затрат.

Ключевые слова: магнитно-импульсное оборудование, индукторные системы, технологии, штамповка, сварка, упрочнение.

Введение

Исследования воздействия магнитного поля на окружающий мир ведутся с момента открытия этого явления. Более 60-ти лет в различных странах публикуется множество научных работ о результатах исследования эффектов, получаемых при воздействии магнитных полей в различных условиях на разнообразные материалы и изделия [1 – 5]. В 2020 году исполнилось 55 лет с момента появления в тематике исследований Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси импульсные методы обработки материалов давлением: изучение и создание оборудования для штамповки металлов импульсным магнитным полем, для электрогидроимпульсной и пневмоударной обработки листовых металлов.

Выполненные работы в области теории импульсных процессов и разработки оборудования, эффектов высокоскоростного пластического течения и разрушения металлов позволили в 1980-90 гг. широко внедрить новые технологии на многих предприятиях страны. Созданные за этот период магнитно-импульсные установки в количестве более 20 единиц были внедрены на предприятиях Беларуси: ПО «Горизонт», «МАЗ», «МЗКТ», «БелАЗ», «БПОВЦ»,

«Электронмаш» и др. В России – «ЦНИИТ», «НИИЭТО» (г. Москва). А также в Украине, в Армении, Австрии. Электрогидроударные и пневмоударные прессы были внедрены на многих предприятиях авиационной промышленности СССР, организован серийный выпуск прессов на заводе «Кузлитмаш» (г. Пинск, РБ), на котором были изготовлены десятки прессов промышленного исполнения. Указанные разработки неоднократно демонстрировались на международных выставках в Ганновере и Италии [6].

Разработанные способы обработки материалов с помощью высоких давлений и ударных волн при электрическом разряде в жидкости (электрогидроимпульсная обработка материалов), при электрическом взрыве проводников в различных средах (электровзрывная обработка материалов), комплекса силовых, тепловых и структурных эффектов при взаимодействии импульсного магнитного поля с металлами (магнитно-импульсная обработка материалов МИОМ) нашли применение в различных отраслях металлообрабатывающей промышленности [7 – 10], вошли в учебные программы университетов Беларуси, России и Украины по инженерным специаль-

ностям: «Обработка материалов давлением», «Сварка», «Материаловедение», «Порошковая металлургия» и др..

В настоящее время в Республике Беларусь метод магнитно-импульсной обработки (МИО) нашел также практическое применение для упрочнения поверхности стальных инструментов и высоконагруженных изделий [11]. Ряд испытаний на производствах предприятий Республики Беларусь и за рубежом показали, что в результате высокоскоростной упрочняющей магнитно-импульсной обработки разнообразные стальные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой и других отраслях промышленности, повышают свои эксплуатационные характеристики до двух раз [12].

Основная часть

В ФТИ НАН Беларуси был создан научно-практический центр «Парк импульсных технологий обработки материалов» (ПИТОМ) для дальнейшего развития и обеспечения эффективного использования в производственной практике импульсной обработки материалов с организацией выставки имеющегося в институте действующего оборудования: магнитно-импульсных установок с демонстрацией их технологических возможностей: вытяжка-формовка деталей из алюминиевых сплавов и стали, вырубка-пробивка тонколистовых прокладок из металлических и неметаллических материалов, чеканка, вырубка-пробивка тонколистовых металлических материалов, обжим и раздача трубчатых заготовок, резка, отбортовка, развальцовка трубчатых заготовок. Общий вид действующего участка ПИТОМ представлен на рисунке 1. На рисунке 2 представлены основные магнитно-импульсные установки.

Оснащение ПИТОМ действующим оборудованием с перечисленными выше видами технологий магнитно-импульсной обработки материалов позволило создать единственную в СНГ и даже в Европе площадку комплексной демонстрации и рекламы разработок Физико-технического института для научных и коммерческих решений. Важным преимуществом магнитно-

импульсных прессов является короткая кинематическая цепь, отсутствие движущихся частей, малая металлоемкость по сравнению с механическими и гидравлическими прессами, отсутствие необходимости в фундаменте, многократное снижение эксплуатационных расходов, многократное ускорение процесса освоения нового производства, низкая трудоемкость переналадки оборудования на другое изделие.



Рисунок 1. Магнитно-импульсные установки и изготовленные образцы на участке ПИТОМ в Физико-техническом институте НАН Беларуси

Известно, что МИО обладает способностью упрочнять поверхность металлических деталей. МИО наиболее эффективна при воздействии на металлические поверхности, имеющие большое количество различных внутренних дефектов (искривления кристаллической решетки, остаточные внутренние напряжения и т.д.), так как приводит к их частичному устранению, а вышеуказанные дефекты появляются при различных технологических операциях (термических или деформационных). В результате воздействия МИО на металл стабилизируется структура и субструктура металла, что снижает трещинообразование, обеспечивает повышение прочности изделий и, соответственно, увеличивает их срок эксплуатации. Осуществление указанных процессов непосредственно связано с неоднородностью материала стали и локальным выделением теплоты вблизи дефектов при протекании индукционных токов, деформационными и магнитоstrictionными эффектами (в случае изделий, выполненных из магнитных материалов) [13 – 15].

В настоящее время активно модернизируются установки для упрочняющей маг-

нитно-импульсной обработки, которые отличаются своими техническими характеристиками, в частности максимальной запасаемой энергией. Магнитно-импульсный пресс МИП-18, представленный на рисунке 2,а, имеет максимально запасаемую энергию до 15 кДж.

МИП-18 позволяет увеличить эффективность (скорость и частоту) магнитного воздействия на инструмент из коррозионно-стойких и высоколегированных марок стали, тугоплавких сплавов. Конструкция установки с увеличенной рабочей зоной позволяет обрабатывать изделия больших размеров (580x580x700 мм). Встроенная система контроля температуры, разработанная на базе контроллера и цифровых измерителей температуры DS18B20, позволяет проводить исследования динамики изменения температуры поверхности образцов из различных сплавов, а также контролировать температуру нагрева индукторной системы и изделия при различных технологических режимах МИО. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика. Используя эти разработки, установлено, что под влиянием магнитно-импульсного воздействия температура нагрева поверхности исследуемых образцов сплавов растет с увеличением энергии МИО от 4 до 10 кДж. При одинаковой энер-

гии воздействия в цилиндрическом индукторе образец нагревается быстрее, чем при МИО на плоском индукторе.

Магнитно-импульсная установка представляет собой генератор импульсных токов, расположенный в металлическом шкафу с рабочей зоной на стальном столе, на котором устанавливают необходимые для создания магнитного поля индукторные системы (рисунок 3).

Обрабатываемое изделие любой формы (сферической, цилиндрической, плоской) помещают в индуктор, надежно закрепляют, включают и программируют технологический режим работы установки, проводят МИО, после чего упрочненное изделие извлекают из индуктора или проводят цикл повторной МИО. Это зависит от материала, из которого изготовлено изделие.

Процесс упрочняющей обработки (в зависимости от выбранного технологического режима) составляет от 3 до 50 с. Однако, процесс установки изделий в зону обработки и снятия после упрочнения достаточно трудоемкий и длительный. С целью ускорения процесса магнитно-импульсной упрочняющей обработки металлических изделий при их большом количестве и для достижения высокой производительности оборудования необходимо осуществить автоматизацию и механизацию процесса, в том числе и вспомогательных устройств.

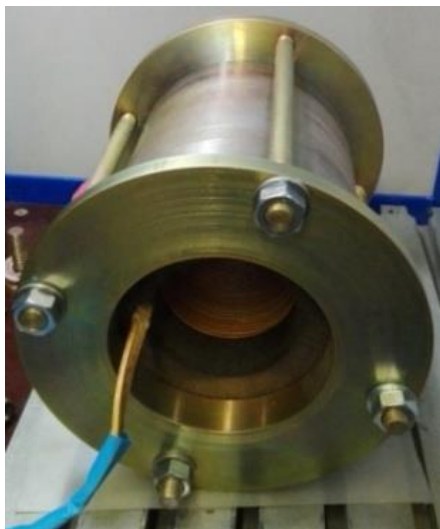


а

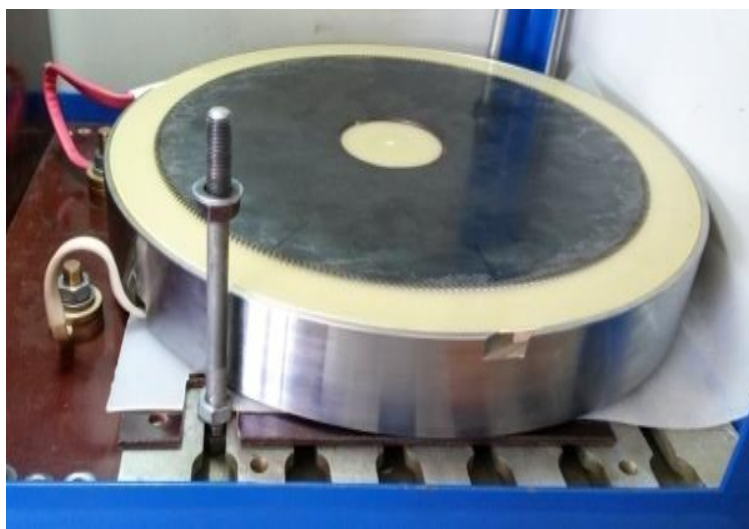


б

Рисунок 2. Магнитно-импульсное оборудование: а – пресс МИП-18, б – электрогидроимпульсный пресс (ЭГИП)



а



б

Рисунок 3 – Индукторные системы для магнитно-импульсной обработки материалов: *а* – цилиндрический индуктор, *б* – плоский индуктор

В зависимости от потребности предприятий для автоматизации оборудования предлагаются следующие основные направления разработки конструкций: универсальная (для обработки разнообразных типов изделий, с программируемыми манипуляторами); типовая для однотипных изделий; индивидуальная (для обработки изделий сложной формы).

На размеры и комплектацию установки в большой степени влияет тип и размер изделия и, соответственно, индуктора. Первый тип – плоский (открытый), когда изделие плоской формы свободно помещается сверху на рабочую плоскость индуктора и фиксируется прижимом сверху, что позволяет создать установку проходного типа, при необходимости беспрепятственно перемещая изделие в зоне упрочнения. Второй тип – цилиндрический или овальный (закрытый), когда изделие цилиндрической или сложной формы помещается внутри индуктора через входное отверстие и после обработки должно быть удалено из индуктора по направлению подачи. В этом случае замкнутая форма индуктора усложняет конструкцию механизмов загрузки и выгрузки изделий, однако не требует прижима изделия сверху.

На конструкцию и комплектацию установки влияет ее требуемая производительность. Очевидно, что с увеличением производительности степень автоматизации должна возрастать, что влечет за собой

повышение стоимости оборудования. Уровень развития и использования современных роботизированных устройств зарубежных фирм (KUKA, SCARA) и отечественных (АГАТ, Rozumrobotics и др.) на промышленных предприятиях значительно возрос и позволяет использовать готовые решения автоматизации оборудования для оснащения МИО. Например, разработанный коллаборативный робот-манипулятор от фирмы Rozumrobotics может выполнять любые переместительные повторяющиеся операции, перекладывать грузы и может использоваться для автоматизации МИО. Такая конструкция может использоваться для всех типов и видов производств, однако сдерживающим фактором является относительно высокая стоимость, проведение конструкторско-монтажных работ и программное обеспечение.

При использовании установок МИО на машиностроительных предприятиях в технологических операциях по упрочнению поверхностей металлических изделий, режущих инструментов определенной формы, можно предложить более простые конструкторские решения загрузочных и разгрузочных устройств, работающих по требуемому циклу с релейной схемой управления, что значительно снизит их стоимость. В качестве загрузочных и разгрузочных устройств возможно использование разнообразных элементов механики: ка-

ретки с электромагнитным захватом, порталы, толкатели и т.д. Конструкция прижима изделия во время МИО должна обеспечить его надежное фиксированное положение на индукторе. Возникают значительные усилия в момент прохождения импульса (до 10 кН).

Заключение

Магнитно-импульсные технологии и оборудование актуальны на предприятиях машино-, приборо-, авиастроения, в электротехнической промышленности для получения деталей из металлов различного конструктивного исполнения (стержень – труба, стержень – лист, лист – лист, соединение метизов с корпусными деталями и др.), а также упрочнения поверхности стальных готовых деталей и изделий.

В настоящее время создан ряд экспериментальных магнитно-импульсных установок различных модификаций, цилиндрических и плоских индукторных систем. Проведен большой объем исследований влияния режимов МИО стальных изделий сферической, цилиндрической, плоской и сложной формы на их структуру, микротвердость, износостойкость.

Для повышения производительности и эффективности высокоскоростного магнитно-импульсного упрочнения инструмента и получения деталей различной формы для различных отраслей промышленности возможна разработка оборудования для осуществления конкретной технологии. Высокая степень механизации и автоматизации комплексов для упрочняющей магнитно-импульсной обработки металлических изделий различного назначения будет способствовать более широкому применению их на промышленных предприятиях Республики Беларусь и за рубежом.

Библиографический список

1. Кривоглаз, М.А. О влиянии сильных магнитных полей на фазовые переходы / М.А. Кривоглаз, В.Д. Садовский // Физика металлов и металловедение. - 1964. - Т.18, №. 4. - С. 502-505.
2. Садовский, В.Д. Магнитное поле и фазовые превращения в стали // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1965. - № 7. - С. 16-18.
3. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1998. - 130 с.
4. Калетина, Ю.В. Фазовые и структурные превращения в легированных сталях и сплавах под действием магнитного поля и термической обработки : дисс. ... док. техн. наук. Екатеринбург, 2009. - 319 с.
5. Овчаренко, А.Г. Метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин // Обработка металлов. – 2008. – №3. – С.161 - 163.
6. Кривонос, Ю.И. Практика освоения разработок Физико-технического института НАН Беларуси в области технологии и оборудования импульсной обработки материалов давлением / Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, Т.Ю. Бучик // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы / редколлегия: В.Г.Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2021. – С. 333 - 337.
7. Зимин, Ю.А. К вопросу стратегии развития и совершенствования кузнечно-прессового оборудования в России / Ю.А. Зимин // Кузнечно-штамповочное производство. 2000, №5. – С. 18 - 23.
8. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый [и др.]. – Харьков: «Вища школа», 1977. - 168 с.
9. Эффективные процессы магнитоимпульсной штамповки элементов трубопроводов систем охлаждения и обогрева автомобильной техники / Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, А.П. Криштоб // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением/ редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. - Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2013. С. 71-77.
10. Минько, Д.В. Исследование технологических режимов электроимпульсного прессования и спекания порошка же-

- леза с добавкой композиционного порошка железо-олово / Д.В. Минько, К.Е. Белявин, Л.Н. Дьячкова, Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, Т.Ю. Бучик, С.С. Дубенец // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением/ редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. - Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. - С. 51 - 60.
11. Алифанов, А.В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка материалов / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, А.Н. Матяс, А.А. Лях, А.И. Горчанин, О.А. Толкачева // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы / редколлегия: В.Г.Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2021. – С. 127- 153.
 12. Ларионов, С.Г. Роль магнитного поля и состояния режущих кромок в повышении стойкости инструмента // Металлургия машиностроения. -2015. - №4. - С. 22-24.
 13. Милюкова, А. М. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А. М. Милюкова [и др.] // Сборник докл. симпозиума «Технологии. Оборудование. Качество» в рамках Белорусского промышленного форума 2018 (Минск, 29 мая – 1 июня 2018 г.) / В.С. Харитончик [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2018. - С. 164 - 168.
 14. Алифанов, А.В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А.В. Алифанов, Д.А. Ционенко, А.М. Милюкова // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В.В. Клубовича. - Витебск УО «ВГТУ», 2017. - Т.2. - С. 31 - 52.
 15. Алифанов, А.В. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А.В. Алифанов, Д.А. Ционенко, А.М. Милюкова, Н.М. Ционенко // Вес. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. - 2016. - №4. - С. 31 - 36.

Information about the paper in English

A.M. Milyukova, A.V. Alifanov
 State Scientific Institution Institute of
 Physics and Engineering,
 the National Academy of Sciences of Belarus
 Minsk, the Republic of Belarus
 E-mail: annart@mail.ru
 Received 27.04.2021

**MAGNETIC PULSE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING AND STRENGTHENING
 METALLIC PARTS**

Abstract

Magnetic pulse technologies play an important role in manufacturing and strengthening the surface of high quality parts from metallic and non-metallic materials. The designed equipment and technologies are applied not only for stamping and strengthening parts, but also for joining metallic materials, having different mechanical, physical or chemical properties, to manufacture light structures, high-strength parts and save expenses.

Keywords: magnetic pulse equipment, inducer systems, technologies, stamping, welding, strengthening.



УДК 621.9.022

**А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов,
М.П. Барышников, О.Д. Бирюкова,
А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, Д.В. Грачев**
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru
Дата поступления 01.08.2021

ВОЗМОЖНОСТИ СТАНА 400 АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ И РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА КУКА 160

Аннотация

В конце 2020 г. - начале 2021 г. в лаборатории механики градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» был запущены в эксплуатацию уникальный, не имеющий аналог в Европе стан 400 асимметричной прокатки и роботизированный комплекс КУКА 160. Стан и роботизированный комплекс позволяют проектировать новые технологии теплой и холодной прокатки, а также инкрементальной штамповки.

Ключевые слова: стан асимметричной прокатки, роботизированный комплекс, инкрементальная штамповка, градиентная структура металлов

Введение

На основе научного задела, сформированного коллективом ученых лаборатории механики градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова» спроектирован и изготовлен не имеющий аналогов в РФ опытно-экспериментальный лабораторный стан дуо с индивидуальным приводом рабочих валков для реализации процессов асимметричной и аккумулирующей прокатки с максимально допустимым усилием прокатки 2500 кН (250 тс) и крутящими моментами 2×70 кНм, что обеспечит возможность получения и испытания полноразмерных опытных образцов металлических наноматериалов. Стан асимметричной холодной прокатки, собранный в Южной Корее, по своим характеристикам является единственным в Европе и третьим во всем мире.

Технические характеристики опытно-экспериментального лабораторного стана дуо представлены в таблице 1. Общий вид конструкции и габаритные размеры представлены на рис. 1, 2. Все органы регулирования и контроля работы прокатного стана объединены на одном пульте управления с

сенсорной панелью и расположены на безопасном удалении от стана. Система управления прокатным станом обеспечивает мониторинг в режиме реального времени с цифровой (количественной) индикацией параметров технологического процесса. На данном стане можно обрабатывать как черные (сталь), так и цветные (алюминий, медь, титан) металлы и сплавы.

Таблица 1
Технические характеристики
опытно-экспериментального
лабораторного стана дуо

Параметр	Значение
Тип	Реверсивный дуо с индивидуальным приводом рабочих валков
Нажимное устройство	Гидравлическое
Диаметр рабочих валков	340 мм
Длина бочек рабочих валков	400 мм
Усилие прокатки (max)	2500 кН (250 тс)
Крутящие моменты (max)	2×60 кН·м
Мощность главного привода	2×75 кВт
Толщина прокатываемых листовых заготовок	от 50 мм до 0,5 мм
Прокатываемые материалы	Al, Fe, Ti, а также другие металлы и сплавы с σ_t до 1500 МПа
Реализуемые технологии	– симметричная прокатка; – асимметричная прокатка; – криогенная прокатка; – аккумулирующая прокатка;
Общая масса оборудования	20 тонн



Рисунок 1. Общий вид конструкции опытно-экспериментального лабораторного стана дуо с индивидуальным приводом рабочих валков для реализации процессов асимметричной и аккумулярующей прокатки

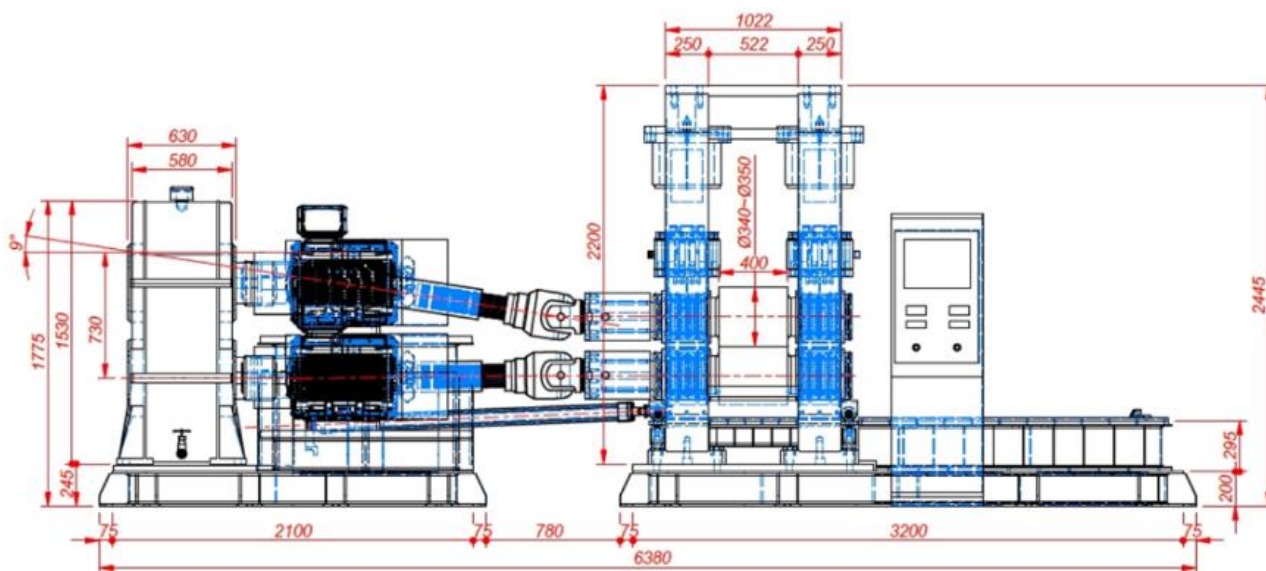


Рисунок 2. Габаритные размеры опытно-экспериментального лабораторного стана дуо с индивидуальным приводом рабочих валков

Основная часть

Стан позволяет прокатывать образцы с обжатием 75-90% за один проход. В результате получается ультрамелкозернистая структура материала. Сравнение вариантов асимметричной и симметричной прокатки для стали 08Ю и сплава из алюминия Д16 представлено в таблице 2. и таблице 3.

Анализ таблиц показывает, что асимметричная прокатка стали 08Ю в валках со скоростями, отличающимися в 5 раз при прочих равных условиях, привела к одновременному увеличению обжатия с 50 до 80 % и уменьшению усилия почти в

3 раза за один проход по сравнению с симметричной прокаткой (рисунок 3). При этом твердость по Виккерсу возросла почти на 44 %. При асимметричной прокатке происходит значительный разогрев металла в очаге деформации. На образце появляются цвета побежалости.

При симметричной прокатке образец из сплава Д16 разрушился при попытке обжать его на 56,6 % (рисунок 4). Увеличение разности скоростей валков до 6,67 раз приводит к увеличению обжатия до 89 %. Усилие прокатки при этом снижается в 3,26 раза. Металл сильно разогревается. При отношении скоростей валков 7,69 образец расплавился.

Таблица 2

Результаты симметричной и асимметричной прокатки стали 08Ю (начальные толщина 3 мм, ширина 25 мм, длина 100 мм, зазор между валками 0,9 мм)

Вид прокатки	Конечная толщина листа, мм	Относительное обжатие, %	Скорости валков, об/мин (V_1/V_2)	Усилие прокатки, кН	Твердость по Виккерсу, HV
Симметричная	1,5	50	6/6	800	172
Асимметричная	0,6	80	10/2	270	247
Примечание	Уменьшение толщины в 2,5 раза	Увеличение относительного обжатия в 1,6 раз		Уменьшенное усилие в 2,96 раза	

Таблица 3

Сравнительная характеристика параметров симметричной и асимметричной прокатки образцов алюминия Д16 (начальная толщина 6 мм)

Образец	Усилие, кН	Установленный зазор между валками, мм	Скорость валков, V_1/V_2 , об/мин	Толщина после прокатки, мм	Твердость по Виккерсу, HV50
Симметричный	750	2,4	6/6	2,65	Образец разрушился
Асимметричный	400	0,9	2/10	0,8	Сторона А: 71,7 Сторона В: 75,0
	230	0,9	10/1,5	0,65	Сторона А: 67,0 Сторона В: 69,7
	-	0,9	10/1,3		Лист расплавился



Рисунок 3. Образцы после асимметричной и симметричной прокатки за один проход



Рисунок 4. Вид разрушенного при симметричной прокатке образца

Кроме стана асимметричной прокатки в лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова установлен роботизированный комплекс инкрементальной штамповки KUKA 160 (рисунок 5). Технология позволяет работать с конструкционными, нержавеющей, высокопрочными и оцинкованными сталями, цветными металлами, титаном и с другими материалами. Основное отличие от традиционных технологий в том, что здесь не требуется изготовление дорогостоящего формоизменяющего инструмента и использование мощного прессового оборудования.



Рисунок 5. Общий вид конструкции роботизированного комплекса KUKA 160

Промышленный робот состоит из следующих компонентов:

- манипулятор;
- система управления роботом;
- переносное программирующее устройство;
- соединительные кабели;
- программное обеспечение;

– опции и принадлежности.

Принцип работы заключается в следующем, при запуске робота пуансон подводится к заготовке и начинает пошаговое формообразование заданной программой детали.

Заключение

Новый стан 400 асимметричной прокатки позволит получать градиентные ультрамелкозернистые листы, обладающие одновременно высокими прочностью и пластичностью. Основной целью роботизированного комплекса KUKA является производство опытных партий изделий и прототипов.

Стан асимметричной прокатки и комплекс инкрементальной штамповки позволят одновременно решать научно-образовательные и опытно-производственные задачи.

Благодарность

Исследование проводилось в рамках реализации Постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 220 (договор № 075-15-2019-869 от 12 мая 2019 г.), за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-69-46042 от 20.05.2020), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90097 (договор №20-38-90097/20 от 03.09.2020).

Библиографический список

1. Рааб Г.И. Перспективы использования методов интенсивной пластической деформации для получения высокопрочных металлических материалов в промышленных масштабах // Сборник материалов IV международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». – М.: ИМЕТ РАН, 2011, С. 205-206.
2. Pesin A.M. Scientific school of asymmetric rolling in Magnitogorsk / Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). С. 23-28.
3. Pesin A., Pustovoytov D., Korchunov A., Wang K., Tang D., Mi Z. Finite Element Simulation Of Shear Strain In Various Asymmetric Cold Rolling Processes /

- Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 4 (48). С. 32-40.
4. Pesin A., Pustovoytov D. Influence of process parameters on distribution of shear strain through sheet thickness in asymmetric rolling //Key Engineering Materials. Vol. 622–623. 2014. P. 929–935.
 5. Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Biryukova O.D. The effect of speed asymmetry on the strain state in aluminium bimetals during accumulative rolling // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2018, №1. P.1-4.
 6. Песин А.М., Бирюкова О.Д., Кожемякина А.Е. Новые технические решения при асимметричной прокатке, созданные на кафедре технологий обработки материалов/ Современные достижения университетских научных школ. Сборник докладов национальной научной школы-конференции. 2019. Магнитогорск. С. 49-55.
 7. Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Бирюкова О.Д., Кожемякина А.Е. Асимметричная прокатка листов и лент: история и перспективы развития/ Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2020. Т. 20, № 3. С. 81–96
 8. Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Пивоварова К.Г., Тандон П., Кожемякина А.Е. Особенности процесса аккумуляли-
рующей прокатки многослойных металлических материалов/Теория и технология металлургического производства. 2020. № 3 (34). С. 31-36.
 9. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E., Cherniahovsky M., Rudakov V. Mathematical Modelling Of The Stress-Strain State In Asymmetric Flattening Of Metal Band / Journal of Materials Processing Technology. 2002. Т. 125-126. С. 689-694.
 10. Асимметричная тонколистовая прокатка: развитие теории, технологии и новые решения. учебное пособие / Салганик В.М., Песин А.М. – Москва, 1997.
 11. Салганик В.М., Песин А.М., Трахтенгерц Е.Л., Дригун Э.М., Смирнов П.Н., Куницын Г.А. Внедрение новых технологий асимметричной прокатки на ОАО "ММК"// Моделирование и развитие процессов ОМД. 2002. № 1. С. 128-133.
 12. Finite-element modeling of the strain state of aluminum alloys in process by the method of ARB. Biryukova O.D., Pustovoytov D.O., Pesin A.M. В книге: MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2019. Материалы IV международной молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. 2019. С. 17-19

Information about the paper in English

**A.M. Pesin, D.O. Pustovoytov,
M.P. Baryshnikov, O.D. Biryukova,
A.E. Kozhemyakina, L.V. Nosov, D.V. Grachev**
Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia
E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru
Received 01.08.2021

FUNCTIONALITY OF ASYMMETRIC ROLLING MILL 400 AND KUKA 160 ROBOTIC COMPLEX

Abstract

In late 2020 – early 2021 the Zhilyaev Laboratory of Mechanics of Gradient Nanomaterials at Nosov Magnitogorsk State Technical University commissioned unique asymmetric rolling mill 400, unparalleled in Europe, and KUKA 160 robotic complex. The mill and the robotic complex are used to design new technologies of warm and cold rolling, and incremental stamping.

Keywords: asymmetric rolling mill, robotic complex, incremental stamping, gradient structure of metals.



УДК 621.838.222

М.П. Шишкарев
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет» (ДГТУ)
г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: shishkarev_m_p@mail.ru
Дата поступления 06.04.2021

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНО-ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Аннотация

Показано, что применение в адаптивной фрикционной муфте положительно-отрицательной обратной связи, функционирующей в режиме разделения работы ее компонент по времени, позволяет значительно повысить номинальную нагрузочную способность при настройке муфты по минимальному коэффициенту трения. Адаптивная фрикционная муфта с положительно-отрицательной обратной связью обладает более высокой, по сравнению с муфтой-аналогом, точностью срабатывания, при этом предпочтительным является вариант, когда максимальное значение вращающего момента соответствует максимальному значению коэффициента трения.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, положительно-отрицательная обратная связь, синтез, номинальная нагрузочная способность, точность срабатывания, коэффициент трения.

Введение

Состояние вопроса. Положительная обратная связь пока не находит широкого применения в конструкциях адаптивных фрикционных муфт (АФМ) вследствие технической сложности при ее реализации [1, 2]. Отрицательная одноконтурная обратная связь на данном этапе развития и совершенствования АФМ не позволяет существенно повысить точность срабатывания, кроме того, ее действие сопровождается снижением номинальной нагрузочной способности [3].

Задача исследования заключается в разработке конструкции АФМ с положительно-отрицательной обратной связью, обладающей повышенной номинальной нагрузочной способностью и точностью срабатывания.

Основная часть

Рассмотрим принципиальную схему АФМ со смешанной – положительно-отрицательной обратной связью (рисунок 1, а). Полумуфты 1 и 2 связаны между собой

фрикционной группой, состоящей из дисков трения 3 и 4. Диски 3 связаны с барабаном полумуфты 2, диски 4 – со ступицей нажимного диска 5, который установлен на втулке 6 и связан с ней в окружном направлении при помощи шпонки 7. Слева (по рисунку 1, а) фрикционная группа и втулка 6 опираются на упорный диск 8 с помощью упорных подшипников.

Нажимное управляющее устройство (УУ положительной обратной связи) состоит из тел качения 9, которые размещены в гнездах со скошенными боковыми стенками, выполненных в нажимном диске 5 и опорном диске 10, связанном со ступицей полумуфты 1 при помощи направляющей шпонки 11 (рис. 1, б). Опорный диск поджат пружиной 12 в направлении нажимного диска 5.

Отжимное УУ (УУ отрицательной обратной связи) состоит из тел качения 13, размещенных с зазором в гнездах со скошенными боковыми стенками, выполненных во втулке 6 и опорном диске 10 (рисунок 1, в).

Настройка АФМ, т. е. регулирование значения силы натяжения пружины 12, осуществляется таким образом, что при настроечном (номинальном) значении вращающего момента муфты дополнительная осевая деформация пружины (под действием распорной силы на тела качения 9 во время работы) отсутствовала. Поскольку настройка АФМ производится с учетом минимального значения коэффициента трения f_{\min} , значение номинального (настроечного) вращающего момента муфты равно

$$T_n = z(F_n + F_{\text{тр}})R_{\text{ср}}f_{\min}, \quad (1)$$

где z – число пар трения фрикционной группы; F_n – сила натяжения пружины 12; $F_{\text{тр}}$ – сила трения между опорным диском 10 и направляющей шпонкой 11; $R_{\text{ср}}$ – средний радиус поверхностей трения фрикционных пар.

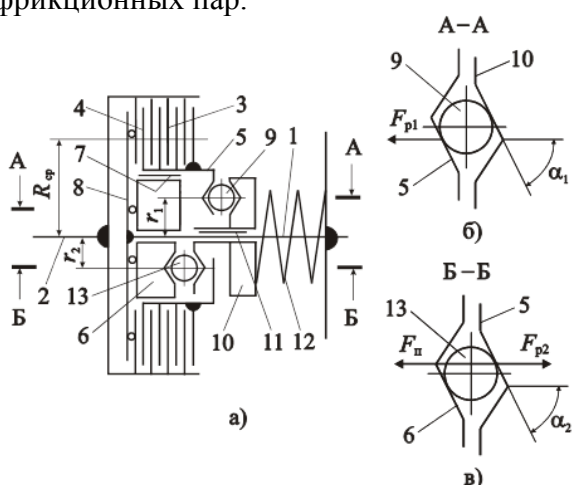


Рисунок 1. Принципиальная схема АФМ с положительно-отрицательной обратной связью

Поставим дополнительное условие, которое заключается в том, что значение распорной силы F_{p1} между телами качения 9 и нажимным диском 5 при передаче муфтой вращающего момента T_n равно значению силы натяжения F_n пружины 12 и силы трения $F_{\text{тр}}$ между опорным диском 10 и направляющей шпонкой 11.

На основании поставленного условия запишем:

$$F_{p1} = F_n + F_{\text{тр}}. \quad (2)$$

Значение распорной силы F_{p1} вычисляется по следующей формуле:

$$F_{p1} = (T_n/r_1) \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (3)$$

где α_1 – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения 9; r_1 – радиус окружности, на которой расположены тела качения 9.

Значение силы трения $F_{\text{тр}}$ определяется по следующей формуле [4]:

$$F_{\text{тр}} = (2T_n/d) f_1, \quad (4)$$

где f_1 – коэффициент трения между опорным диском 9 и направляющей шпонкой 11; d – диаметр посадочной поверхности ступицы полумуфты 1.

Подставляя правую часть формулы (4) в равенство (1) и решая составленное уравнение относительно неизвестного T_n , получаем [5, 6]

$$T_{\min} = T_n = zF_n R_{\text{ср}} \frac{f_{\min}}{1 - 2zR_{\text{ср}}f_{\min}f_1/d}. \quad (5)$$

Используя формулы (3), (4) и (5) в равенстве (2), получаем:

$$C_1 = 1/(zf_{\min}). \quad (6)$$

В формуле (6) параметр C_1 представляет собой коэффициент усиления (КУ) положительной обратной связи:

$$C_1 = (R_{\text{ср}}/r_1) \operatorname{tg} \alpha_1.$$

При увеличении коэффициента трения и наступлении перегрузки возрастает распорная сила F_{p1} , в результате чего нарушается осевое равновесие опорного диска 10 и происходит поворот нажимного диска 5 и втулки 6 относительно полумуфты 1 [7]. После того как будут выбраны зазоры между телами качения 13 и боковыми стенками соответствующих гнезд (это достигается благодаря тому, что тела качения 9 и 13 расположены на окружностях с различными радиусами), на телах качения 13 возникает распорная сила F_{p2} , которая стремится отжать вправо (по рис. 1, а) опорный диск 10, уменьшая при этом силу действия пружины 12 на фрикционную группу.

Движение опорного диска 10 при этом прекращается, и значение вращающего момента, который будет передавать муфта, вычисляется по следующей формуле:

$$T_i = zR_{cp}f_i(F_n + cx - F_{pi}), \quad (7)$$

где f_i – текущее значение коэффициента трения; c – осевая жесткость пружины 12; x – дополнительная осадка пружины 12 под действием нажимного устройства положительной обратной связи; F_{pi} – текущая распорная сила отжимного УУ.

Заменяя хордой дугу окружного зазора между телами качения 13 и боковыми стенками гнезд (это вполне допустимо при небольших значениях зазора), находим значение окружного перемещения нажимного диска 5 в точке его контакта с телом качения 9:

$$t = (r_1/r_2)y,$$

и соответствующее ему осевое перемещение опорного диска 10:

$$x = \frac{r_1 y}{r_2 \operatorname{tg} \alpha_1} \left(1 + \frac{r_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{r_2 \operatorname{tg} \alpha_1} \right),$$

где y – удвоенное значение окружного зазора между телом качения 13 и боковой стенкой гнезда; r_2 – радиус окружности, на которой расположены тела качения 13.

В последней формуле учтено увеличение окружного зазора между телом качения 13 и боковой стенкой гнезда в результате осевого перемещения опорного диска 10.

Таким образом, значение дополнительной осадки пружины 12 прямо пропорционально значению зазора y , и увеличение силы натяжения пружины, равное cx , зависит от упомянутого зазора.

Значение распорной силы F_{pi} определяется по следующей формуле:

$$F_{pi} = (T_i/r_2) \operatorname{tg} \alpha_2, \quad (8)$$

где α_2 – угол скоса гнезда под тело качения 13.

Подставляя правую часть формулы (8) в равенство (7), после решения составленного уравнения находим:

$$T_i = z(F_n + cx)R_{cp} \left[f_i / (1 + zC_2 f_i / 2) \right], \quad (9)$$

где C_2 – КУ отрицательной обратной связи:

$$C_2 = (R_{cp}/r_2) \operatorname{tg} \alpha_2.$$

В формуле (9) учтено обстоятельство, что при одновременном действии каждое из УУ передает половину общей нагрузки АФМ [8, 9].

Необходимо отметить, что формула (9) справедлива при значениях коэффициента трения, удовлетворяющих условию $f_i \geq f_k$ (где f_k – критическое значение коэффициента трения, при котором начинает функционировать УУ отрицательной обратной связи). При значении коэффициента трения $f_i = f_k$ АФМ перед началом функционирования УУ отрицательной обратной связи передает вращающий момент, значение которого зависит только от действия УУ положительной обратной связи, т. е.

$$T_{k1} = z(F_n + cx + F_{tp})R_{cp}f_k,$$

что с учетом формулы (4) позволяет записать следующее соотношение:

$$T_{k1} = z(F_n + cx)R_{cp} \left[f_k / (1 - 2zR_{cp}f_k/d) \right]. \quad (10)$$

После начала функционирования УУ отрицательной обратной связи, вращающий момент муфты уменьшается до значения, определяемого по следующему соотношению:

$$T_{k2} = z(F_n + cx)R_{cp} \left[f_k / (1 + zC_2 f_k / 2) \right]. \quad (11)$$

Указанное уменьшение значения вращающего момента АФМ отражено прямой ВС на рис. 2. Кривая АВ на этом рисунке характерна для периода функционирования УУ положительной обратной связи.

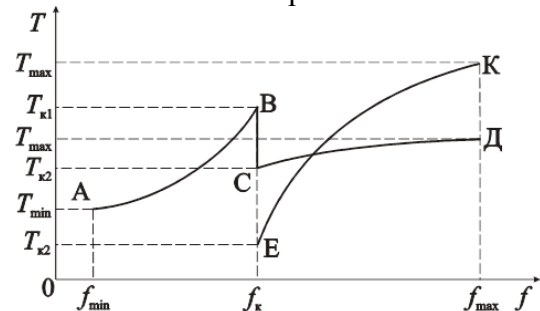


Рисунок 2. Схемы нагрузочных характеристик АФМ с положительно-отрицательной обратной связью

Для значений коэффициента трения $f_i > f_k$ нагрузочная характеристика муфты отражается кривой СД, причем, в зависимости от значения КУ C_2 , значение вращающего момента T_{max} (см. рисунок 2) может быть больше или меньше вращающего момента T_{k1} , а значение вращающего момента T_{k2} – больше или меньше значения вращающего момента T_{min} .

Кривая КЕ на рисунке 2 показывает вариант нагрузочной характеристики АФМ при работе с отрицательной обратной связью и увеличенным значением КУ по сравнению с КУ, соответствующим кривой СД.

Предположим, что муфта будет обладать наибольшей точностью срабатывания в том случае, когда выполняются следующие условия [10, 11]:

$$T_{\min} \leq T_{к2}, \quad (12)$$

$$T_{\max} \leq T_{к1}. \quad (13)$$

Условие (12) обуславливает первое ограничение значения КУ C_2 в виде

$$C_2' \leq \frac{2[(F_{\Pi} + cx)(1 - 2zR_{cp}f_{\min}f_1/r)f_k - F_{\Pi}f_{\min}]}{zf_k f_{\max}}. \quad (14)$$

Второе ограничение значения КУ C_2 найдем из условия (13) в следующем виде:

$$C_2'' \geq \frac{2(f_{\max} - f_k - 2zR_{cp}f_1f_kf_{\min}/d)}{zf_k f_{\max}}. \quad (15)$$

Решая уравнение $C_1' = C_2''$ с учетом правых частей соотношений (14) и (15), находим формулу для определения значения коэффициента трения f_k , удовлетворяющего условиям (12) и (13):

$$f_k = \frac{2F_{\Pi}f_{\min}f_{\max}}{(F_{\Pi} + cx)f_{\max} + F_{\Pi}f_{\min}}. \quad (16)$$

Необходимо отметить, что формула (16) устанавливает лишь минимальное значение коэффициента трения f_k . При более высоких значениях коэффициента трения f_k условия (12) и (13) также удовлетворяются.

Оптимальное значение окружного за-

Значение коэффициента точности АФМ в данном случае определяется по формуле:

$$K_T = \frac{T_{\max}}{T_{\min}} = \frac{2(F_{\Pi} + cx)f_{\max}^2}{2F_{\Pi}f_{\min}f_{\max} + (f_{\max} - f_{\min})[(F_{\Pi} + cx)f_{\max} + F_{\Pi}f_{\min}]}. \quad (21)$$

Анализ формулы (21) показывает, что значение коэффициента точности K_T , с учетом соотношений (16) и (20), не зависит от силы натяжения F_{Π} пружины. Влияние значения параметра z на точность срабатывания АФМ аналитически (по формуле (21)) оценить сложно, так как, кроме непосредственного влияния, указанный параметр влияет на значение коэффициента точности K_T опосредованно, через параметры

зора y может быть найдено на основе следующих рассуждений. При функционировании УУ положительной обратной связи формулу для определения значения вращающего момента запишем в виде

$$T_i = zR_{cp}f_i(F_{\Pi} + F_{pi}'), \quad (17)$$

где F_{pi}' – распорная сила, создаваемая нажимным УУ:

$$F_{pi}' = (T_i/r_1) \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Подставляя правую часть последнего выражения в формулу (17), после решения составленного уравнения получаем:

$$T_i = zF_{\Pi}R_{cp}(f_i/(1 - zC_1f_i)), \quad (18)$$

при условии $f_i \leq f_k$.

Из уравнения $T_i = T_{к1}$ (при $f_i = f_k$) с учетом формул (10) и (18) находим:

$$x = zF_{\Pi}C_1[f_k/(1 - zC_1f_k)C]. \quad (19)$$

В формуле (19) член f_k содержит параметр x , поэтому после подстановки в эту формулу правой части соотношения (16) и решения квадратного уравнения относительно неизвестного члена x получаем:

$$x = F_{\Pi}(\sqrt{A + B + D} - \sqrt{A})/(2C_1f_{\max}), \quad (20)$$

где

$$A = [f_{\max}(1 - 2zC_1f_{\min}) + f_{\min}]^2,$$

$$B = f_{\min}^2 + 2f_{\min}f_{\max}(1 - 2zC_1f_{\min}),$$

$$D = f_{\max}^2(1 + 2zC_1f_{\min})^2.$$

Значение окружного зазора определяется по формуле

$$y = xr_2 \operatorname{tg} \alpha_1 / (r_1[1 + r_1 \operatorname{tg} \alpha_2 / (r_2 \operatorname{tg} \alpha_1)]),$$

в которой значение параметра x вычисляется по соотношению (20).

C_1 , C_2 и x . В связи с этим, исследуем упомянутое влияние с помощью графического способа.

На рисунке 3 показан график зависимости (21) (кривая 1). Здесь же приведен график зависимости (20) (кривая 2). Графики построены по следующим исходным данным: $f_{\min} = 0,1$, $f_{\max} = 0,8$, $c = 25$ Н/мм,

$F_n = 100$ Н (при построении кривой 2). Значение КУ C_1 являлось переменной и вычислялась по формуле (6) при $z = 2; 4; 6; 8; 10$.

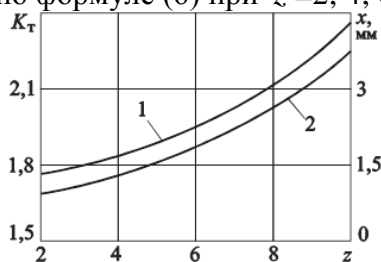


Рисунок 3. Зависимости коэффициента точности АФМ и осевого перемещения опорного диска 10 от числа пар трения

Анализ графиков показывает следующее:

- точность срабатывания АФМ уменьшается при увеличении числа пар трения фрикционной группы, что объясняется увеличением КУ C_1 и силы натяжения пружины под воздействием УУ положительной обратной связи [12, 13];

- дополнительная осадка пружины под воздействием УУ положительной обратной связи увеличивается по мере роста числа пар трения, что объясняется увеличением вращающего момента, передаваемого УУ, и распорной силы [14, 15];

- при принятых условиях (12) и (13) точность срабатывания АФМ ограничена и относительно невелика.

Относительно низкая точность срабатывания АФМ при принятых условиях объясняется действием в определенный период времени положительной обратной связи (рис. 2, участок АВ), что не позволяет использовать ее для эффективной защиты приводов машин от перегрузок.

В связи с этим исследуем вариант АФМ, у которой не выполняется условие (13), т. е.

$$T_{\max} > T_{к1}. \quad (22)$$

В данном случае значение КУ C_2 , удовлетворяющее неравенству (22), определяется по соотношению, представляющему собой обратное неравенство (15), т. е.

$$C_2 < \frac{2(f_{\max} - f_k - 2zR_{cp}f_1f_kf_{\min}/d)}{z f_k f_{\max}}.$$

По-прежнему должно удовлетворяться условие (14), которое в этом случае будет общим при определении значения КУ

C_2 . Формула (16) для определения критического значения коэффициента трения в данном случае не применима, и значение коэффициента трения f_k может назначаться произвольно. При этом значение коэффициента трения f_k будет зависеть от окружного зазора u и значения вращающего момента, передаваемого муфтой, т. е., в сущности, от параметров z , F_n и R_{cp} .

Вопрос о выборе значения коэффициента трения f_k должен решаться на основе анализа его влияния на точность срабатывания АФМ. В рассматриваемом случае значение коэффициента точности определяется по формуле:

$$K_t = T_{\max}/T_{\min} = \frac{(F_n + cx)f_{\max}(1 - 2zR_{cp}f_{\min}f_1/d)}{F_n f_{\min}(1 + zC_2 f_{\max}/2)}. \quad (23)$$

График функции (23) показан на рис. 4. График построен по тем же исходным данным, что и кривая 1 на рисунке 3, значение КУ C_2 определялось по соотношению (14) (в форме равенства). Число пар трения, принятое при построении графика на рисунке 4, принято $z = 10$.

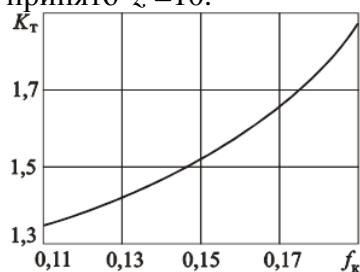


Рисунок 4. Зависимость коэффициента точности АФМ от критического коэффициента трения

Зависимость значения дополнительной осадки пружины x от значения коэффициента трения f_k в данном случае можно найти на основе следующих рассуждений. Допустим, что вращающий момент АФМ равен $T_n = T_{\min}$ при $f = f_{\min}$. При увеличении коэффициента трения до значения, равного f_k , дополнительная осадка пружины отсутствует, если перегрузка в кинематической цепи привода отсутствует.

При возникновении перегрузки в начальный период времени величина вращающего момента АФМ равна

$$T = zR_{cp} f_k (F_n + F_{тр}),$$

а величина распорной силы:

$$F_p = zC_1 f_k (F_n + F_{тр}).$$

Под действием данной распорной силы происходит дополнительная осевая деформации пружины, на основании чего запишем:

$$zC_1 f_k (F_n + F_{тр}) = F_n + cx + F_{тр}. \quad (24)$$

Необходимо отметить, что после дополнительной осевой деформации пружины вращающий момент АФМ возрастает до величины, равной $T_{к1}$ (см. формулу (10)), однако в результате этого дальнейшая осевая деформация пружины будет отсутствовать, т. к. начинает функционировать УУ отрицательной обратной связи и значение вращающего момента муфты уменьшается (рисунок 2, точка С нагрузочной характеристики).

Принимая во внимание, что в рассматриваемом случае значение коэффициента трения f_k незначительно отличается от значения f_{min} , будем считать, что величина силы трения $F_{тр}$ мала, и ею можно пренебречь без существенного ущерба для точности вычислений. На основании этого из равенства (24) находим

$$x = F_n (zC_1 f_k - 1) / C,$$

или, с учетом формулы (5):

$$x = F_n (f_k / f_{min} - 1) / C. \quad (25)$$

При построении графика на рис. 4 значение x определялось по формуле (25). С учетом формулы (25) соотношение (23) запишем в следующем виде:

$$K_T = \frac{f_{max} f_k (1 - 2zR_{cp} f_{min} f_1 / d)}{f_{min}^2 (1 + zC_2 f_{max} / 2)}.$$

Анализ графика на рис. 4 показывает, что точность срабатывания АФМ уменьшается при увеличении коэффициента трения f_k . В целом муфта обладает более высокой точностью срабатывания, чем ее вариант при выполнении условий (12) и (13).

Обсуждение и результаты. Применение в АФМ положительно-отрицательной обратной связи, функционирующей в режиме разделения работы ее компонент по времени, позволяет значительно повысить номинальную нагрузочную способность и

точность срабатывания.

Указанный положительный эффект достигается только в том случае, если максимальная величина вращающего момента соответствует максимальному значению коэффициента трения, используется интервал значений коэффициента трения, внутри которого функционирует положительная обратная связь, и оптимальная величина КУ отрицательной обратной связи.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании АФМ с положительно-отрицательной обратной связью, компоненты обратной связи которой работают в режиме разделения по времени.

Выводы

1. Применение в АФМ положительно-отрицательной обратной связи, функционирующей в режиме разделения работы ее компонент по времени, позволяет значительно повысить номинальную нагрузочную способность при настройке муфты по минимальному коэффициенту трения.

2. АФМ с положительно-отрицательной обратной связью обладает более высокой, по сравнению с муфтой-аналогом, точностью срабатывания, при этом предпочтительным является вариант, когда максимальное значение вращающего момента соответствует максимальному значению коэффициента трения.

3. Для повышения точности срабатывания АФМ с положительно-отрицательной обратной связью следует уменьшать интервал значений коэффициента трения, внутри которого функционирует положительная обратная связь.

4. Существует оптимальное значение КУ отрицательной обратной связи, при котором достигается наибольшая точность срабатывания АФМ с положительно-отрицательной обратной связью.

Библиографический список

1. Шишкарёв М.П. Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 13–15.
2. Шишкарёв М.П., Гавриленко М.Д. Определение величины коэффициента

- усиления адаптивных фрикционных муфт с положительной обратной связью // Известия ОрелГТУ, серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2011. – № 6 – 3 (290), ноябрь-декабрь. – С. 123–127.
3. Дьяченко С.К., Киркач Н.Ф. Предохранительные муфты. – Киев: Гостехиздат УССР, 1962. – 122 с.
 4. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1974. – 352 с.
 5. Шишкарев М.П. Анализ способов настройки предохранительных фрикционных муфт // Вестник машиностроения. – 2009. – № 8. – С. 29–32.
 6. Тепинкичиев В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков. – М.: Машиностроение, 1968. – 110 с.
 7. Шишкарев М.П., Чан Ван Дык. Исследование вариантов адаптивных фрикционных муфт второго поколения // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 42–45.
 8. Запорожченко Р.М. О характеристиках предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1971. – № 1. – С. 48–52.
 9. Шишкарев М.П. Исследование режима перегрузки АФМ второго поколения (базовый вариант) // Материалы 8-й междунар. науч.-практ. конф. «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения» 3–6 марта 2015 г., Ростов н/Д, 2015. – С. 182–185.
 10. Есипенко Я.И., Паламаренко А.З., Афанасьев М.К. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.
 11. Запорожченко Р.М. К вопросу об эффективности фрикционных предохранительных муфт с точки зрения снижения веса приводов // Вестн. Харьк. политех. ин-та. – 1971. – Вып. I.XIV, № 58. – С. 16–19.
 12. Жуков К.П., Гуревич Ю.Е. Проектирование деталей и узлов машин. – М.: Изд-во «Станкин», 1999. – 615 с.
 13. Добровольский В.А. и др. Детали машин. Учеб. для машиностроит. вузов. 7-е изд. / В.А. Добровольский, К.И. Заблонский, С.Л. Мак, А.С. Радчик, Л.Б. Эрлих. – М.: Машиностроение, 1972. – 503 с.
 14. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
 15. Петриченко В.А. Разработка и исследование фрикционных муфт повышенной точности ограничения нагрузки: Автореф. дис....канд. техн. наук: – Киев, 1982. – 19 с.

Information about the paper in English

M.P. Shishkarev
 Don State Technical University
 Rostov-on-Don, Russia
 E-mail: shishkarev_m_p@mail.ru
 Received 06.04.2021

SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE FRICTION COUPLING AND A POSITIVE-NEGATIVE FEEDBACK COUPLING

Abstract

It is shown that a positive-negative feedback coupling, functioning in a mode of dividing of its components in time, applied in an adaptive friction coupling, considerably increases nominal load capacity, when adjusting the coupling according to the minimum friction coefficient. The adaptive friction coupling with the positive-negative feedback coupling shows higher accuracy of actuation as compared to a similar coupling; however, a preferable option is when the maximum value of rotating torque corresponds to the maximum friction coefficient.

Keywords: adaptive friction coupling, positive-negative feedback coupling, synthesis, nominal load capacity, accuracy of actuation, friction coefficient.



УДК 621.771:62-82

М.В. Уланов, О.А. Филатова
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: feleodor@mail.ru
Дата поступления 28.05.2021

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРИВОДА ПРОТИВОИЗГИБА РАБОЧИХ ВАЛКОВ ЧЕТЫРЕХКЛЕТЬЕВОГО СТАНА 2500

Аннотация

В статье представлена модернизированная гидравлическая схема привода механизма противозгиба рабочих валков, позволяющая устранить ряд возникающих в процессе эксплуатации проблем. Предложенные технические решения по модернизации принципиальной гидравлической схемы привода позволят уменьшить количество гидроаппаратов в схеме, обеспечат возможность автоматической регулировки систем противозгибов рабочих клетей и повышения надежности системы в целом.

Ключевые слова: прокатный стан, противозгиб рабочих валков, гидравлическая схема, гидропривод, пропорциональная техника

Введение

Непрерывный четырехклетевой стан 2500 ЛПЦ -5 ПАО «ММК» предназначен для холодной прокатки травленных горячекатаных полос, смотанных в рулоны весом до 30 тонн. Исходный материал: рулоны горячекатаной полосы $(1,5-6,0) \times (1000-2350)$ мм. Сортамент готовой продукции: холоднокатаные листы $(0,6-2,5) \times (900-2350)$ мм и холоднокатаная полоса в рулонах. Производительность стана составляет 2,5–3 млн. т/год. Рабочие клетки стана предназначены для осуществления процесса холодной прокатки полос, т.е. для удержания в определенном положении рабочих и опорных валков, возможности их перемещения в вертикальной плоскости, вращения валков и восприятия усилий, возникающих во время прокатки [1, 2]. Контроль толщины прокатываемой полосы производится на рабочей скорости прокатки радиоизотопными измерителями толщины.

Эффективным средством борьбы с разнотолщинностью прокатываемых листов можно считать силовую профилировку (противозгиб) рабочих и опорных валков. Основными преимуществами противозгиба и дополнительного изгиба рабочих и опорных валков является его быстро-

действие, позволяющее регулировать поперечную разнотолщинность и планшетность прокатываемых полос непосредственно при прокатке, а также возможность прокатывать на одних и тех же валках полосы различной ширины, материала и с различными обжатиями. Применение гидравлической системы в механизмах противозгиба рабочих валков обусловлено ее компактностью, в отличие от электромеханических систем исполнения, быстродействием, возможностью передачи больших усилий и широким диапазоном передаточных отношений [3, 4].

Основная часть

На рисунке 1 изображена гидравлическая схема противозгиба рабочих валков. Рабочая жидкость подается из маслобака (Б) нерегулируемыми насосами (Н1, Н2, Н3, Н4, Н5), каждый насос подает давление на одну клеть. В случае неисправности рабочего насоса посредством задвижек подключается резервный насос (Н5). От превышения максимального давления в системе предусмотрены предохранительные клапаны (КП1-КП5). Далее рабочая жидкость поступает к клапанам (КП6-КП9), которые служат для изменения усилий противозгиба на каждой клетке. Возле клетки установ-

лен пульт управления, где оператор, руководствуясь сортаментом проката, выставляет усилие на манометре посредством тумблера, который управляет шаговым электродвигателем (М1-М4), передающим вращение червячному редуктору (РЧ1-РЧ4). Червячный редуктор в свою очередь управляет пилотным клапаном игольчатого

типа. Далее рабочая жидкость через линии Х управляет предохранительным клапаном (КП2-КП5), передавая рабочую жидкость под заданным давлением к исполнительным механизмам. Гидрораспределители (Р1-Р4) служат для разгрузки гидроцилиндров в сервисном режиме.

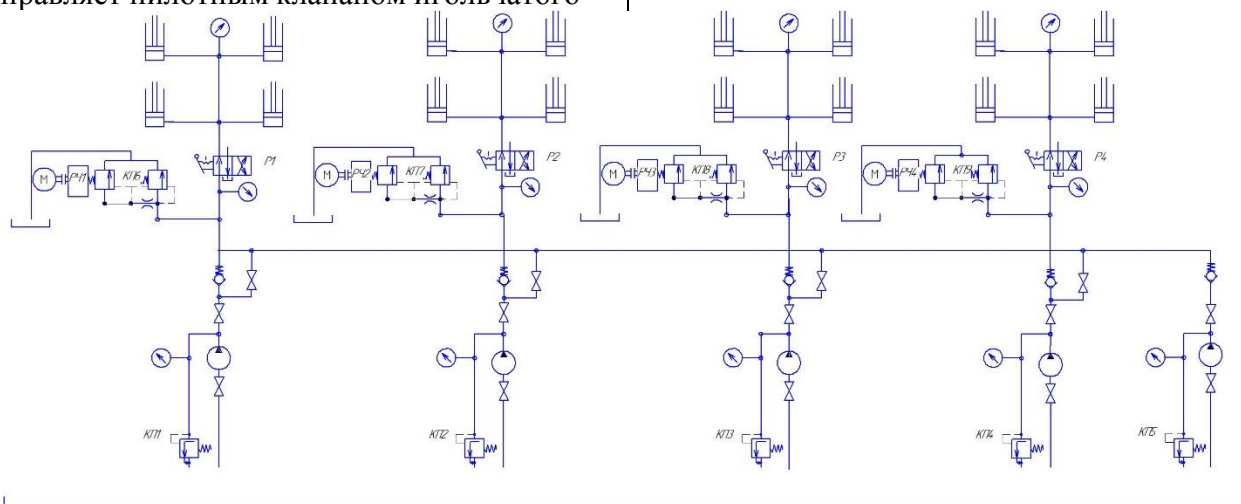


Рисунок 1. Схема гидравлическая привода противоизгиба рабочих валков

Для расширения сортамента и увеличения объёмов прокатки необходима надёжная система, которая отвечала бы быстродействием и исключала человеческий фактор при ручной регулировке усилий [7]. Рассматривая данный аспект, в данной системе были выявлены недостатки, которые влияют на надёжность и быстродействие, а именно:

1. Применение нерегулируемых насосов в системе способствует повышенному износу и перегреву рабочей жидкости. Кроме того, данная система исключает возможность автоматического подключения резервного насоса при неисправности рабочего, что в свою очередь увеличивает время простоя оборудования.

2. Применение системы непосредственной регулировки затрудняет возможность автоматического регулирования и контроля усилий на рабочие валки клетки.

3. Система регулировки давления, состоящая из электродвигателя, редуктора, игольчатого пилотного клапана и основного клапана имеет высокое количество отказов из-за большого количества механизмов и требуют частого проведения технического обслуживания и регулировки.

4. Так как оборудование прокатного стана проектировалось в 50-х годах, гидравлическая составляющая состоит из дискретных клапанов, которые могут работать на масле И-20А с чистотой рабочей жидкости 12-15 класса по системе NAS. Данная чистота масла ведет к быстрому износу золотниковых и клапанных пар, а применение масла И-20А, которое подвержено быстрому старению и высокой степени окисления, требует полной замены через 6 месяцев работы

Исходя из вышеизложенного было принято решение на переработку гидравлической схемы [5,6,7], а именно:

1. Заменить нерегулируемые гидравлические насосы на аксиально поршневые насосы с наклонным диском с автоматической регулировкой расхода и давления (Н1-Н3). В системе на все клетки используются 3 основных насоса. Два из которых в работе, один - в резерве. С целью уменьшения отказов и равномерной наработки моточасов необходимо переключение насосов в резерв с равными периодами.

2. Применение гидроаппаратуры с модулем обратной связи для возможности удаленного регулирования давления.

3. Заменить систему регулировки давления гидроизгиба на пропорциональный редуцирующий клапан (PK1-PK4).

4. Отделить систему гидроизгиба от основной маслостанции стана 2500 с применение масла HLP 46 для поддержания чистоты рабочей жидкости. И использовать систему циркуляционной станции, представленной на рис. 3, с применением пластинчатого теплообменника для поддержания рабочей температуры масла, что в свою очередь увеличит ресурс рабочей жидкости в гидросистеме и будет способствовать поддержанию класса чистоты не выше 5 по

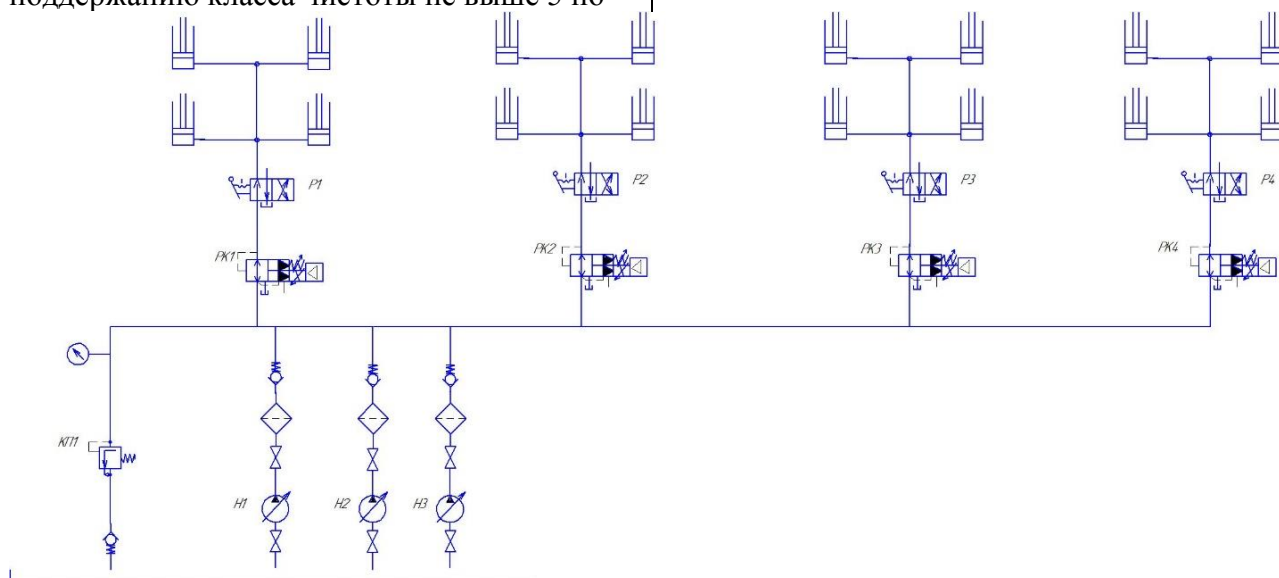


Рисунок 2. Предлагаемая принципиальная гидравлическая схема привода механизма противоизгиба рабочих валков

В системе предлагается использование редуцирующего клапана фирмы Rexroth 3DREME 16 (PK1-PK4).

Пропорциональные редуцирующие клапаны служат для электрической дистанционной установки давления, при этом есть возможность дополнительно оказывать воздействие электрическим способом на повышение и понижение давления во времени [3, 8]. Давление, таким образом, может изменяться с помощью электрической заданной величины в соответствии с требованиями процесса или подгоняться к таким требованиям.

Основной критерий пропорциональных клапанов - это регулируемые электромагниты управления, которые являются связующим звеном между электроникой и гидравликой.

классификации NAS. Данный класс чистоты соответствует бесперебойной работе пропорциональных клапанов типа DREME.

5. Для предотвращения попадания частиц износа системы в пропорциональные клапана необходимо использовать напорные фильтры на рабочих насосах, что в свою очередь обезопасит гидроагрегаты и снизит нагрузку на фильтрыэлементы контура циркуляции.

Предлагаемая гидравлическая схема привода с описанными выше техническими решениями представлена на рисунке 2.

В зависимости от практического применения различают [8]: электромагниты с аналоговой характеристикой «перемещение-ток», так называемые регулируемые по подъёму электромагниты и электромагниты с особо определенной характеристикой «сила-расход», электромагниты регулируемые по силе.

Для пропорционального току изменения выходной величины силы и перемещения можно применять только электромагниты постоянного тока. Электромагниты переменного тока в связи со своим зависимым от подъёма потребление тока должны занимать свое конечное положение подъёма по мере возможности без промедления.

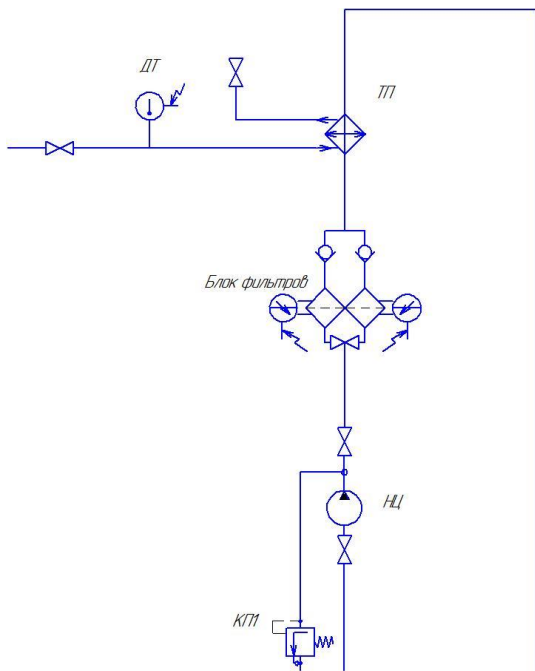


Рисунок 3. Предлагаемая принципиальная гидравлическая схема системы циркуляции

Электромагнит, регулируемый в зависимости от силы: в таком электромагните сила электромагнита регулируется в зависимости от изменения силы тока, при этом якорь электромагнита не производит значительного подъема. В следствии обратной связи по току в электрическом усилителе электромагнитный ток, а таким образом и электромагнитная сила, придерживаются постоянной величины даже при изменении сопротивления электромагнита.

Основными частями редукционного клапана являются: пилотный клапан с пропорциональным магнитом и основной клапан с золотниковым комплектом.

Давление настройки клапана определяется силой тока на пропорциональном магните. Для предотвращения недопустимого повышения давления в случае слишком большого управляющего тока на пропорциональном магните, может быть установлен предохранительный клапан с регулируемым поджатием пружины. Эти клапана имеют широкий диапазон регулировки по давлению от 0 до 315 бар с отклонением не более 2% и скоростью срабатывания 10 м/с при номинальном расходе 300

л/мин, что удовлетворяет всем требованиям для данной системы.

Заключение

В результате проведенной модернизации принципиальной гидравлической схемы было достигнуто следующее:

- Количество гидроаппаратов в разработанной схеме по сравнению с существующей схемой уменьшилось на 40 %.
- Благодаря использованию пропорциональных редукционных клапанов типа DREME появилась возможность точной регулировки давления каждой клетки с возможностью программной корректировки, что в свою очередь способствует исключению человеческого фактора при настройке рабочих параметров клеток.
- Увеличилась скорость перестройки прокатных клеток.
- С применением в системе контура циркуляции появилась возможность поддержания заданного класса рабочей жидкости.
- Применение напорных фильтров после рабочих насосов снижает возможность попадания частиц износа к клапанам.
- Использование пластинчатого теплообменника исключает возможность перегрева рабочей жидкости.
- Применение в системе масла типа HLP 46 способствует увеличению регламентной замены масла и повышает ресурс гидроагрегатов системы.

Библиографический список

1. Исследование взаимосвязи натяжений полосы и нагрузок электроприводов изгибно-растяжной машины непрерывно-травильного агрегата / Корнилов Г.П., Филатов А.М., Филатова О.А., Храмшин Т.Р., Храмшин Р.Р. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №3. С. 69–78. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-3-69-78>.
2. Исследование привода изгибно-растяжной машины непрерывно-травильного

- агрегата стана холодной прокатки / Корнилов Г.П., Филатов А.М., Филатова О.А., Храмшин Т.Р., Храмшин Р.Р. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №1. С. 71–79. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-71-79>.
3. Основы функционирования гидро- и электроприводов: практикум / А. И. Курочкин, Д. М. Айбашев, А. М. Филатов, С. В. Подболотов; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 2019. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4014.pdf&show=dcatalogues/1/1532643/4014.pdf&view=true>.
 4. Сайфуллаев, С.Д., Чиченев, Н.А. Модернизация гидравлического пакетировочного пресса АО "Узвторцветмет"// Сталь. №10. 2019. - С.53-55.
 5. Точилкин, В. В. Проектирование элементов металлургических машин и оборудования: учебное пособие / В. В. Точилкин, О. А. Филатова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3319.pdf&show=dcatalogues/1/1138305/3319.pdf&view=true>.
 6. Точилкин, В. В. Создание агрегатов и устройств технологических машин: монография/ В.В. Точилкин, О.А. Филатова. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск). 2020. – 136с.
 7. Уланов М.Ю. Совершенствование гидравлической схемы привода механизма вертикального регулирования заправочного стола моталки/ М.Ю. Уланов, О.А. Филатова // Сборник: Современные проблемы и перспективы развития науки, техники и образования. Материалы I Национальной научно-практической конференции. 2020. С. 885-887.
 8. Пропорциональная техника и техника сервоклапанов: учебник и справочник по гидравлическим пропорциональным клапанам и сервоклапанам, а также электронным компонентам, применяемым в управлениях и контурах регулирования/ Х.Дерр, Р. Эвальд, Й. Хуттер [и др.]. Пер. с нем. — Маннесманн Рексрот ГмбХ, 1986. – 258с.

Information about the paper in English

M.V. Ulanov, O.A. Filatova
 Nosov Magnitogorsk State Technical University
 Magnitogorsk, Russia
 E-mail: feleodor@mail.ru
 Received 28.05.2021

IMPROVING A HYDRAULIC DRIVE CONFIGURATION OF WORK ROLL BENDING
 ON FOUR-HIGH MILL 2500

Abstract

The paper presents a revamped hydraulic configuration of work roll bending to eliminate difficulties occurring during the operation. The suggested technical solutions to revamping a principal hydraulic diagram of the drive will contribute to decreasing a number of hydraulic units in the diagram, ensuring an automatic adjustment of work roll bending systems and increasing reliability of the system in general.

Keywords: rolling mill, work roll bending, hydraulic diagram, hydraulic drive, proportional equipment.



УДК 539.374

Т.В. Бровман
ФГБОУ ВПО «Тверской государственный
технический университет»
г. Тверь, Россия
E-mail: brovman@mail.ru
Дата поступления 07.06.2021

ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВДАВЛИВАНИЯ В ЗАГОТОВКУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО И ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПУАНСОНОВ

Аннотация

Во многих задачах обработки давлением нельзя найти точное решение системы уравнений теории пластичности, в таких задачах применяют метод «верхней оценки усилий» - метод построения кинематически допустимых полей скоростей. Решение задач о вдавливании прямоугольного и цилиндрических пуансонов с помощью экстремальных принципов теории пластичности позволили получить значение усилий деформации с точностью достаточной для решения практических задач.

Ключевые слова: штамп, вдавливание, верхняя оценка, мощность.

Введение

Точное решение не удается получить при определении усилий вдавливания пуансона в деформируемую заготовку при штамповке, вытяжке, клеймении, поэтому, широко используют методы построения кинематически допустимых полей скоростей и статически допустимых полей напряжений, определяющих, соответственно, верхнюю и нижнюю оценки величин мощности и усилия, необходимых для деформации. В работах В. Авицура, Бердичевского В.Л. [1-2] рассмотрен ряд кинематически допустимых полей скоростей с граничными линиями в виде прямых и дуг окружностей. Точные решения получены только при плоской деформации с применением метода характеристик [3, 4].

В задачах о вдавливании пуансонов принято, что пластическая деформация происходит вблизи пуансона, остальной объем заготовки остается жестким.

Для плоской деформации возможны два типа решений: в первом из них происходит течение металла вдоль поверхности пуансона, а во втором часть деформируемого металла перемещается совместно с пуансоном, скольжения между ними нет и реализуется зона прилипания по всей поверхности пуансона.

Согласно гипотезе Хаара - Кармана при осевой симметрии для применения этого метода необходимо вводить дополнительное допущение о равенстве двух главных напряжений. По принятому кинематически допустимому полю скоростей, используя условие пластичности и часть уравнений равновесия, можно определить все компоненты тензора напряжений и на основе расчетов определить мощность и усилие деформации. Если удалось построить и статически допустимое поле напряжений, то имеем двухстороннюю оценку. Задачей расчета является выбор параметров таким образом, чтобы в наибольшей степени приблизиться к точному решению, т.е. минимизировать величину мощности.

Основная часть

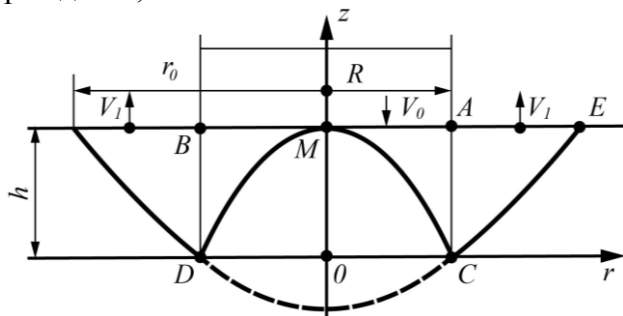
Рассмотрим кинематически допустимое поле скоростей при вдавливании цилиндрического пуансона радиусом R в полупространство со скоростью $V_z = -V_0$, рисунок 1.

Для варианта поля скоростей (рисунок 1а) в цилиндрической системе координат r, z компоненты вектора скорости равны $V_r = \frac{V_0 R^2}{2rh}$; $V_z = -V_0$ в области АСМ ($r < R$) и $V_r = \frac{V_0 R^2}{2rh}$; $V_z = V_0$ в области АСЕ ($r \geq R$). На границе зон при $r = R$

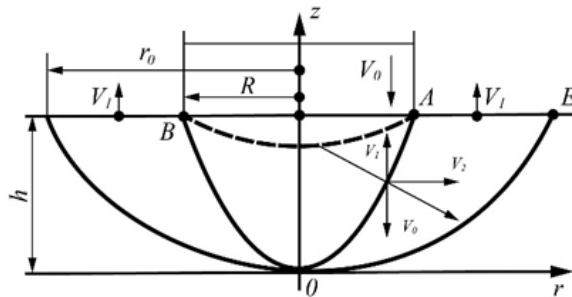
нормальная компонента (V_r) непрерывна, а тангенциальная ее компонента терпит разрыв, равный ($V_1 + V_1$). Ниже поверхности МСЕ материал является жестким, уравнения линии ДМС – $z = h \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$, а $CE - z = \frac{h}{u_1^2 - 1} \left(-1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$. Из условия несжимаемости параметр $u_1 = \frac{r_0}{R}$ определяет внешнюю границу пластической зоны: $V_0 = V_1(u_1^2 - 1)$, рисунок 1а. Мощность формоизменения в зоне МСУФМ равна:

$$N_1 = \int_0^h dz \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2kr H dr,$$

где h - высота зоны пластической деформации; $H = \frac{V_0 R^2}{r^2 h}$ - интенсивность тензора скорости деформации; k - предел текучести при сдвиге;



а



б

Рисунок 1. Кинематически допустимые поля скоростей при вдавливании цилиндрического пуансона радиусом R : а - со скольжением деформируемого металла относительно цилиндрической поверхности пуансона; б - с жесткой зоной, примыкающей к поверхности пуансона

Мощность трения на площади круга ВМА, рисунка 1а:

$$N_5 = \int_0^R 2\pi r \psi k V_r R^2 \left(\frac{0,5\psi}{u_2}\right),$$

где ψk – напряжение трения при $z = h$; ψ – постоянная, характеризующая трение,

Коэффициент напряженного состояния:

$$n_\sigma = \frac{p}{2k} = \frac{u_1^2 \ln u_1}{u_1^2 - 1} + \frac{0,5(u_1 + \psi)}{u_2} + \frac{u_1^2 u_2 (5u_1 + 7)}{3(u_1 + 1)(u_1^2 - 1)} \quad (1)$$

При минимальном трении $\psi = 0$, условия $\frac{\partial n_\sigma}{\partial u_1} = 0$ и $\frac{\partial n_\sigma}{\partial u_2} = 0$ определены величины $u_1 = 1,65$; $u_2 = 0,52$; $n_\sigma = 3,96$.

$$\varphi_1 = R \sqrt{1 - \frac{z}{h}}; \varphi_2 = R \sqrt{1 + (u_1^2 - 1) \frac{z}{h}}$$

Согласно расчетам мощность формоизменения в зоне МСУФМ:

$$N_1 = 2\pi k V_0 R^2 - \frac{u_1^2}{u_1^2 - 1} \ln u_1.$$

Мощность среза вдоль поверхности параболоида ДМС:

$$N_2 = 2\pi k V_0 R^2 \left(\frac{0,5}{u_2} + \frac{2}{3} u_2\right).$$

Мощность среза вдоль поверхности СЕ:

$$N_3 = 2\pi k V_0 R^2 \left[\frac{u_1 - 1}{8} + \frac{2}{3} \frac{u_2 (u_1^3 - 1)}{(u_1^2 - 1)^2}\right],$$

Мощность среза вдоль цилиндра АС:

$$N_4 = 2\pi k R (V_0 + V_1) = 2\pi k V_0 R^2 \frac{u_1^2 u_2}{u_1^2 - 1}.$$

варьируемая $0 < \psi \leq 1$; $u_1 = \frac{r_0}{R}$; $u_2 = \frac{h}{R}$ – безразмерные параметры.

Полная мощность деформации, зависит от выбираемых параметров из условия минимума мощности:

$$N = p V_0 \pi R^2 = \sum_{i=1}^5 N_i,$$

где p – среднее давление на торцевой поверхности вдавливаемого цилиндра.

При максимальном трении $\psi = 1$; $u_1 = 1,75$; $u_2 = 0,7$; $n_\sigma = 4,78$, влияние трения составляет 20%.

На рисунке 1б показана схема поля скоростей, при котором область ОВА, является жесткой, перемещается совместно с пуансоном со скоростью $V_z = -V_0$; $V_r = 0$. В зоне ОАЕО $V_r = \frac{C}{r}$, $V_z = V_1 = \frac{V_0}{u_1^2 - 1}$, где C – постоянная.

Из условия непрерывности проекции компоненты скорости на нормаль к поверхности ВОА определяем, что эта поверхность является параболоидом:

$$z = h \frac{r^2}{R^2}; C = \frac{V_0 R^2 u_1^2}{2h(u_1^2 - 1)}.$$

Мощность среза на поверхности параболоида ВОА при разрыве тангенциальной компоненты скорости

$$\Delta V = \frac{(V_0 + V_1)R^2}{2rh} \sqrt{1 + \frac{4r^2 h^2}{R^4}};$$

$$N_1 = 2\pi k V_0 R^2 \left[\frac{0,5u_1^2}{u_2(u_1^2 - 1)} + \frac{2}{3} \frac{u_1^2 u_2}{(u_1^2 - 1)} \right],$$

мощность среза вдоль параболоида ОЕ:

$$N_2 = 2\pi k V_0 R^2 \left[\frac{0,5u_1^3}{u_2(u_1^3 - 1)} + \frac{2}{3} \frac{u_1^2 u_2}{(u_1^2 - 1)} \right].$$

Мощность формоизменения в кольцевой зоне ОАЕО:

$$N_3 = \int_0^h dz \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2\pi r k \left(\frac{2C}{r^2} \right) dr = 2\pi k V_0 R^2 \frac{u_1^2 \ln u_1}{u_1^2 - 1},$$

где $\varphi_1 = R \sqrt{\frac{z}{h}}$; $\varphi_2 = u_1 R \sqrt{\frac{z}{h}}$, из этого соотношения находим величину n_σ :

$$n_\sigma = \frac{u_1^2 \ln u_1}{u_1^2 - 1} + \frac{u_1^2}{2u_2(u_1 - 1)} + \frac{2u_1 u_2}{3(u_1 - 1)} \quad (2)$$

Коэффициент напряженного состояния имеет экстремум при $u_1 = 2,35$; $u_2 = 1,33$ равный $n_\sigma = 4,11$.

Усилие деформации, определенное согласно полю скоростей на рисунке 1б и формуле (2), зависит от величины трения.

На рисунке 2 приведены графики функций $n_\sigma(\psi)$ для поля по рисунку 1а – сплошная линия, для поля по рисунку 1б – пунктир.

Из двух кинематически допустимых полей скоростей следует выбрать то, которое дает меньшую величину усилия.

При $\psi \leq 0,17$ поле, соответствующее схеме рисунка 1а, определяет меньшую величину n_σ . При $\psi > 0,17$ необходимо принять схему по рисунку 1б с жесткой зоны у торца пуансона.

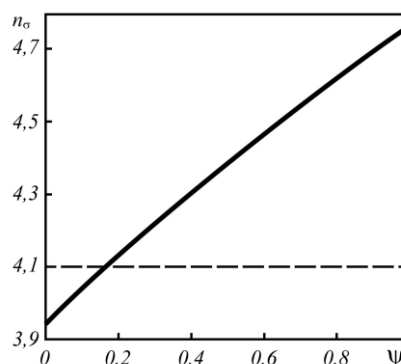


Рисунок 2. График $n_\sigma(\psi)$ сплошная линия для поля по рисунку 1а; пунктир – для поля по рисунку 1б

Для определения нижней оценки величины усилия и мощности построим статически допустимое поле напряжений в виде: $\sigma_r = \sigma_\theta = -p = const$; $\tau_{rz} = 0$ при $0 \leq r \leq R$.

В цилиндре, примыкающем к штампу, радиальное давление p_0 действует на выделенный цилиндр радиусом R по всей его длине, в этом случае:

$$\sigma_z = -p_0 - k\sqrt{3}. \quad (3)$$

В остальном объеме полупространства при $R < r < \infty$ принимаем статически допустимое поле напряжений $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{rz}$ такое, что всюду $\tau_{rz} = \sigma_z = 0$.

При $r = R, \sigma_r = -p_0$ следует выбрать напряжение так, чтобы величина p_0 была максимальной.

При $\sigma_z = 0$ второй инвариант тензора напряжений равен $T = \sigma_r - \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = 3k^2$, причем это будет иметь место

$$\text{при } \sigma_\theta = 0,5\sigma_r = -0,5p_0,$$

когда $\frac{3}{4}p_0^2 = 3k^2, p_0 = 2k$ и из (3) следует, что в области

$$0 = r = R \quad \sigma_z = -k(2 + \sqrt{3}), \text{ а давление } p = 3,73k, n_\sigma = 1,86.$$

Принимаем, что при $r > R$ всюду $\sigma_\theta = 0,5\sigma_r$, получим из уравнения равновесия (с краевым условием при $r = R$)

$$\sigma_r = -p_0 \sqrt{\frac{R}{r}}; \quad \sigma_\theta = -0,5p_0 \sqrt{\frac{R}{r}}.$$

При этом инвариант $T = \sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = 3k^2 \frac{R}{r}$ равен $3k^2$ только при $r = R$, а при $r > R$ он меньше этой величины, т.е. выполняется неравенство текучести $T \leq 3k^2$.

Так как выполнены краевые условия для напряжений, уравнения равновесия и неравенство текучести, то данное поле напряжений является статически допустимым.

Таким образом, для вдавливания гладкого цилиндрического пуансона определена двусторонняя оценка $1,86 \leq n_{\sigma} \leq 3,96$ или $2,15\sigma_T \leq p \leq 4,6\sigma_T$, где σ_T – предел текучести при одностороннем растяжении – сжатии.

Рассмотрим задачу о вдавливании в заготовку пуансона прямоугольного сече-

ния размерами $H \times l \times L$, построим кинематически допустимое поле скоростей для деформации, происходящей только на части заготовки толщиной H_1 , рисунок 3. Жёсткая зона ABC движется совместно со штампом со скоростью v_0 , а участки левее AC и правее BC движутся как жёсткие тела со скоростями $v_1 = v_0 \frac{l}{2H_1}$ в горизонтальном направлении. На рисунке 3а пунктиром показаны граничные линии жёстких зон, на рисунке 3б - положение скоростей на плоскости AC .

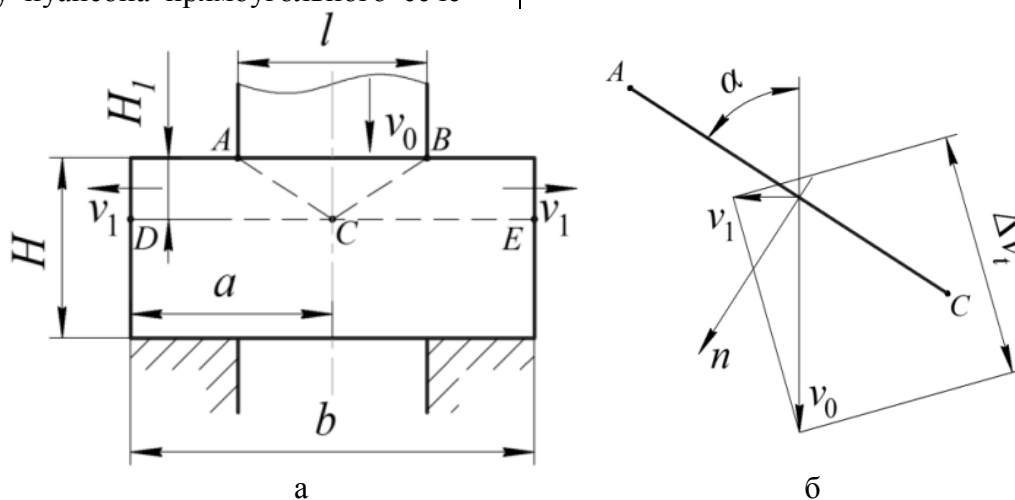


Рисунок 3. Схема кинематически допустимого поля скоростей при вдавливании пуансона прямоугольного сечения:

- а – при деформации на части толщины деформируемой заготовки;
- б – схема скоростей жёстких зон

Условие равенства нормальных компонент скоростей на границе жёстких зон AC определяет:

$$v_1 \sin(90 - \alpha) = v_0 \sin \alpha, \text{ или } v_1 \cos \alpha = v_0 \sin \alpha, \text{ откуда } v_1 = v_0 \operatorname{tg} \alpha.$$

Разрыв тангенциальной компоненты скорости на AC равен:

$$\Delta v_t = v_1 \cos(90 - \alpha) + v_0 \cos \alpha = v_1 \sin \alpha + v_0 \cos \alpha; \Delta v_t = v_0 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha + v_0 \cos \alpha = \frac{v_0}{\cos \alpha}.$$

При длине отрезка AC равным $l_1 = \sqrt{H_1^2 + 0,25l^2}$ мощность среза на этом участке:

$$N_4 = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} v_0 \left(\frac{H_1^2 + 0,25l^2}{H_1} \right) L = \frac{\sigma_T v_0 L}{\sqrt{3}} \left(H_1 + 0,25 \frac{l^2}{H_1} \right).$$

Полная мощность среза по AC и AB составит:

$$N = 2N_4 = P \cdot v_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot v_0 \cdot L \left(H_1 + \frac{0,25 \cdot l^2}{H_1} \right) + \frac{2\sigma_T}{\sqrt{3}} \cdot \frac{a \cdot l \cdot L}{H_1}$$

Усилие деформации равно:

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot l \cdot L \left(\frac{H_1}{l} + \frac{0,25 \cdot l}{H_1} + \frac{a}{H_1} \right).$$

Введем параметр H_1 как $m = \frac{l}{H_1}$ и определим завышенную величину усилия:

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot L \cdot l \left(\frac{1}{m_{min}} + 0,25 m_{min} + \frac{a}{l} m_{min} \right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot L \cdot l \sqrt{1 + 4 \frac{a}{l}}.$$

Если $P_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot L \cdot l < \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \cdot L \cdot l \sqrt{1 + 4 \frac{a}{l}}$ или $H < l \sqrt{1 + 4 \frac{a}{l}}$, то предпочтительнее поле скоростей со срезом по всей толщине заготовки.

При условии $H > l \sqrt{1 + 4 \frac{a}{l}}$, следует принять поле скоростей с перемещением жестких зон согласно схеме на рисунке 3 - с разрывом тангенциальной компоненты скорости вдоль AC. Если реализуется поле скоростей по схеме 3а $H = 0,1$ м, $l = 0,05$ м то:

$$(H = 0,1) < \left(0,05 \sqrt{1 + \frac{0,8}{0,05}} = 0,206 \right).$$

Поле, аналогичное приведенному на рисунке 3 может использоваться и при осесимметричной деформации, при этом линии AC и BC не могут быть прямыми, жесткая зона может иметь при этом форму параболоида.

Построенные поля скоростей применимы и для случая, когда пуансон имеет форму части цилиндра или сегмента, который иллюстрирует рисунок 4. Здесь пуансон с торцевой поверхностью в форме сектора ABE, и поле скоростей, аналогичное рисунку 1б, реализуется в пределах сектора с углом α .

В результате расчета получаем:

$$n_\sigma = n_{\sigma_0} + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{4}{3} u_2 + \frac{u_1^2 - 1}{12u_2^2} + \frac{\varphi}{u_1^2 - 1} \right),$$

где функция

$$\varphi = \left(\frac{4}{3} u_1 u_2 - \frac{u_1^3}{6u_2} \right) \sqrt{1 + \frac{u_1^2}{4u_2^2}} - \left(\frac{4}{3} u_2 - \frac{1}{6u_2} \right) \sqrt{1 + \frac{1}{4u_2^2}} - u_1^2 \ln \left(\sqrt{1 + \frac{u_1^2}{4u_2^2}} + \frac{u_1}{2u_2} \right) + \ln \left(1 + \frac{1}{4u_2^2} + \frac{1}{2u_2} \right)$$

и где n_{σ_0} - выражение, соответствующее формуле (2).

Например, при деформации детали пуансоном с торцевым сечением в форме полукруга $\alpha = \pi$, $n_{\sigma_0} = 4,4$. Однако для секторов с малыми величинами α верхняя оценка становится все более завышенной с уменьшением α , поскольку принятая схема радиального течения не учитывает выпучивания материала у прямоугольных границ

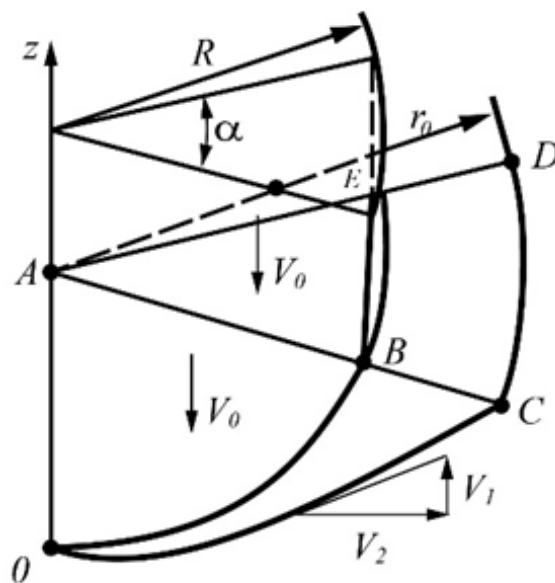


Рисунок 4. Схема кинематически допустимого поля скоростей для пуансона сечением в форме сектора ABE

Часть параболоида OABE перемещается со штампом как жесткое тело, а зоне OCDEB материал испытывает радиальное течение и выдавливается вверх (вдоль оси z).

При расчете мощности, кроме величин, рассмотренных выше, необходимо учесть мощность среза по двум плоским участкам OAB на гранях двугранного угла, где разрыв тангенциальной компоненты скорости равен $\sqrt{V_r^2 + V_1^2}$.

сектора, что при малых α становится преобладающим.

Заключение

При определении напряжений и усилий, необходимых для реализации процессов обработки давлением используют методы теории пластичности и три основных направления решения инженерных задач:

совместное решение приближенных дифференциальных уравнений равновесия и пластичности, метод построения полей линий скольжения и получение решения, отвечающего минимуму полной энергии деформации с использованием вариационных принципов. При пластической деформации нижняя граница определена условием $\sigma_n \geq \sigma_T$ (или $\sigma_n \geq 2k$), где σ_n – нормальное напряжение, которое обычно не может быть меньше, чем σ_T . Поле скоростей по рисунку 1а аналогично решению Р.Хилла для плоской деформации при скольжении деформируемого металла по поверхности пуансона. Поле по рисунку 1б аналогично решению Л. Прандля с прилипанием жесткой зоны к пуансону. Действительное поле скоростей отличается от других кинематически возможных тем, что сообщает полной мощности минимальное значение.

Для вдавливания цилиндрического и прямоугольных пуансонов построены кинематически допустимые поля скоростей и напряжений, определены верхняя и нижняя границы усилий. Показано, что построенное поле скоростей является допустимым для пуансонов с сечениями прямоугольной,

цилиндрической и форме сектора. Это решение действительно и в случае, если форма торца пуансона отличается от плоской, пунктир на рисунке 1б, но поверхность находится внутри жесткого параболоида ОАВ.

Библиографический список

1. Бердичевский В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. М.: Наука. 1983. 447с.
2. Авицур В. Формоизменение кольца: метод верхней оценки. Часть I // Конструирование и технология машиностроения. М.: Мир. 1982. №3. С.126-132.
3. Бровман М.Я. Применение теории пластичности в прокатке. 2-е издание. М.: Металлургия, 1991. 265 с.
4. Бровман М.Я. Особенности пластической деформации при прошивке // Обработка металлов давлением. Сборник научных трудов ДГМА, г. Краматорск, 2013. №3(36). С. 10.
5. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. М: Изд. Дом МИСиС, 2014. 628 с.

Information about the paper in English

T.V. Brovman
Tver State Technical University
Tver, Russia
E-mail: brovman@mail.ru
Received 07.06.2021

ENERGY PARAMETERS OF INDENTING CYLINDRICAL AND RECTANGULAR FORMING DIES INTO BLANKS

Abstract

It is not possible to find an accurate solution to a set of equations of the theory of plasticity in many problems of metal forming. In such cases we apply an upper-bound method of forces – a method of building kinematically admissible velocity fields. By solving problems of indenting rectangular and cylindrical forming dies, using extremum principles of the theory of plasticity, it is possible to calculate deformation forces with an estimate fairly close for solving practical problems.

Keywords: forming die, indenting, upper bound, power.



УДК 658.512.2

А.А. Дерябин
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: Traik2112@mail.ru
Дата поступления 23.07.2021

МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ

Аннотация

В статье рассматривается методика проектирования промышленных изделий с учетом жизненного цикла продукции. В качестве методологической основы процесса проектирования выступает проектно-процессный подход. Разработана модель процесса проектирования, позволившая определить стадии проектирования грузозахватных приспособлений и установить их взаимосвязи.

Ключевые слова: методика, проектирование, жизненный цикл изделия, проектирование грузозахватных приспособлений.

Процесс проектирования является стратегически важным процессом в деятельности человека и в большей мере это касается машиностроительной промышленности. Стоящие перед российской промышленностью задачи по модернизации производств определяют спрос на услуги по проектированию и созданию новых продуктов, совершенствованию технологий, расширению имеющихся мощностей. Для обеспечения достижения заявленных целей социально-экономического развития Российской Федерации, как инструмент преобразования промышленных производств, инжиниринг и промышленный дизайн на сегодняшний день являются самыми актуальными [1]. *Инжиниринг* - это научно-техническое сопровождение процесса поиска, разработки, изготовления и обслуживания машиностроительной продукции на основе совокупности знаний в областях технологии, экономики, организации производства, маркетинга, экологии и других прикладных наук [2]. *Промышленный дизайн*, представляет собой художественное и объемно-функциональное конструирование объектов [3]. *Жизненный цикл изделия* – это определенный промежуток времени времени, начинающийся с начала разработки изделия и заканчивающийся с вывода изделия из эксплуатации [4].

Анализ существующих моделей жизненного цикла изделий позволил определить этапы жизненного цикла промышленного изделия, а также установить их взаимосвязи: 1) *идея, потребность*; 2) *техническое задание*; 3) *проектирование*; 4) *конструирование*; 5) *производство*; 6) *сбыт*; 7) *эксплуатация*; 8) *утилизация*; 9) *влияние спроектированного объекта на окружающий мир*. Модель жизненного цикла промышленного изделия, представлена нами на рисунке 1.

Учитывая сущность процесса проектирования и этапы жизненного цикла промышленного изделия, а также требований стандартов единой системы конструкторской документации нами были определены следующие стадии проектирования: 1) *идея, потребность* 2) *составление технического задания*; 3) *разработка технического предложения*; 4) *разработка проектной концепции*; 5) *разработка технического проекта*; 6) *разработка конструкторской документации*; 7) *изготовление изделия*; 8) *доведения до потребителя*; 9) *сервис и обслуживание*; 10) *утилизация*. При проектировании промышленных изделий необходимо также учитывать требования, которым изделие должно соответствовать: эксплуатационные, социальные, экономические, технологические и производственные [5].

В настоящее время во все сферы деятельности человека в соответствии с требованиями стандартов ИСО осуществляется внедрение системы менеджмента качества, направленной на повышение качества выпускаемой продукции или оказываемых услуг. Реализация системы менеджмента

качества, осуществляется на основе проектного подхода, но так как проектирование промышленных изделий представляет собой процесс, то в связи с этим необходимо рассмотреть проектирование с позиции проектно-процессного подхода [6].

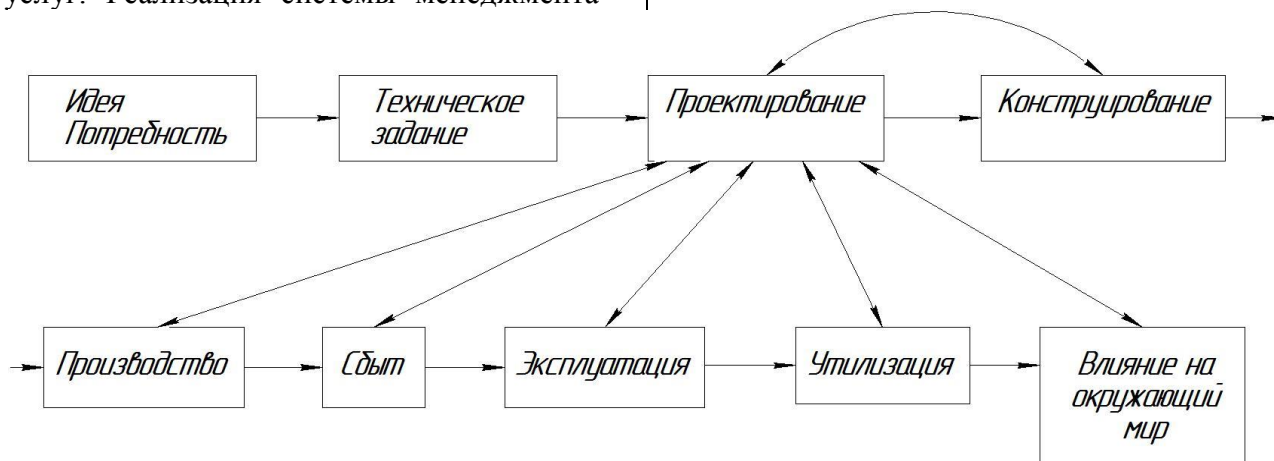


Рисунок 1. Модель жизненного цикла промышленного изделия

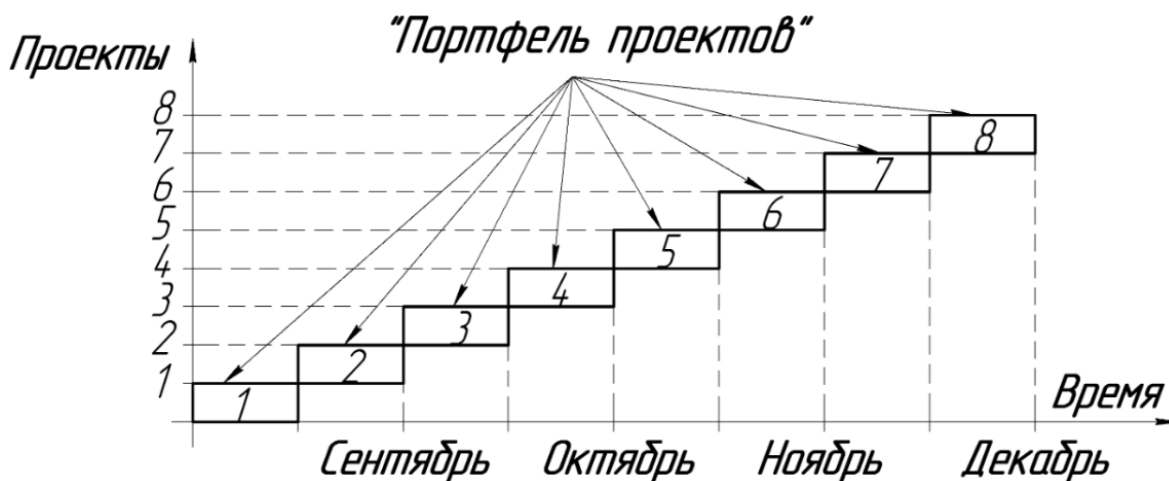


Рисунок 2. Схема процесса проектирования промышленных изделий с позиции проектно-процессного подхода

Проектно-процессный подход является интеграцией двух подходов – проектного и процессного, соответственно включает в себя признаки как одного, так и другого подходов. «...если использовать эти подходы грамотно, то они только дополняют и усиливают, а не исключают друг друга» [7].

Проектно-процессный подход – это совокупность взаимосвязанных проектов, реализуемых в рамках процесса. Сущность проектно-процессного подхода заключается в том, что в целом процесс рассматривается как группа проектов, направленных

на достижение запланированного результата [8, 9]. Структурным компонентом процесса является проект, но, как отмечалось выше, проектный и процессный подходы не только взаимодействуют, но и взаимопроникают, то согласно этому, проект одновременно может являться и процессом, внутри которого заключены различные виды деятельности, осуществляемые в управляемых условиях [8, 10].

С позиции проектно-процессного подхода, проектирование в целом рассматривается как процесс. Процесс – это совокупность технологических операций, осу-

существляющих регулярную, повторяющуюся, циклическую деятельность, выпуская одну и ту же продукцию. Процесс проектирования представляет собой совокупность взаимосвязанных проектов, заключенных в фиксированном интервале времени, осуществляемых в управляемых условиях. Процесс проектирования промышленных изделий мы разбили на отдельные завершённые циклы, которые впоследствии рассматривали, как проекты. Проект – это целенаправленное изменение некоторой системы, протекающее во времени [5, 8].

Таким образом, процесс проектирования промышленных изделий представляет собой группу проектов, которые в совокупности образуют «Портфель проектов», рисунок 2 [8].

Согласно, ГОСТ 2.103-2013 определены следующие стадии проектирования: 1) Разработка технического предложения; 2) Разработка эскизного проекта; 3) Разработка технического проекта; 4) Разработка конструкторской документации (КД) опытного образца изделия; 5) Разработка КД на изделие серийного (массового) производства; 6) Разработка КД на изделие единичного производства [11]. В зависимости от стадий проектирования и поставленных задач, применяют различные методы проектирования. Метод проектирования – это пути и способы достижения целей и решения задач, наиболее актуальных в контексте данного проекта [12].

Руководствуясь положениями проектно-процессного подхода, учитывая сущность процесса проектирования и этапы жизненного цикла промышленного изделия, а также требований стандартов ЕСКД нами были определены стадии проектирования промышленного изделия: 1). Составление технического задания; 2) Разработка технического предложения; 3) Разработка проектной концепции; 4) Разработка технического проекта; 5) Разработка конструкторской документации; 6) Изготовление изделия; 7) Доведение до потребителя; 8) Сервис и обслуживание; 9) Утилизация. Так же была разработана модель процесса проектирования грузозахватных приспособлений, рисунок 3.

Модель разрабатывалась с целью изучения процесса проектирования и установления взаимосвязей рассматриваемого процесса. «Моделирование – это метод исследования объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих предметов и явлений конструируемых объектов для определения либо улучшения их характеристик, либо рационализации способов их построения и управления» [13].

Модель процесса проектирования промышленных изделий представлена на рисунке 3.

На основе разработанной методики было выполнено проектирование и изготовление грузозахватного устройства подъема и перемещения рулонов листового металла, рисунок 4.

Данная методика позволяет выявить ошибки, допущенные на ранних стадиях проектирования. Ниже приведены расчеты финансовых затрат на исправление ошибки допущенных на разных стадиях проектирования.

Финансовые затраты на исправление ошибки, в зависимости от стадии на которой могла быть выявлена ошибка определяем по формуле:

$$S_n = \tau_n \cdot p_n \cdot k_{ам} \cdot k_{дс}, \quad (1)$$

где, τ_n – затраты времени на исправление ошибки на n-ой стадии проектирования, p_n – средняя стоимость одного часа работы, $k_{ам}$ – коэффициент учитывающий амортизационные отчисления (1,18), $k_{дс}$ – коэффициент учитывающий добавленную стоимость (1,3).

Ошибка выявлена на стадии разработки технического предложения.

Вычисляем финансовые затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 2 разработка технического предложения, по формуле (1):

$$S_2 = 8 \cdot 240 \cdot 1,18 \cdot 1,3 = 2945 \text{ р.}$$

$$S_2 = 2945 \text{ р.}$$

Ошибка выявлена по завершении стадии № 3 разработка проектной концепции.

Вычисляем финансовые затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 3 разработка проектной концепции, по формуле (1):

$$S_3 = 16 \cdot 240 \cdot 1,18 \cdot 1,3 = 5890 \text{ р.}$$

$$S_3 = 5890 \text{ р.}$$

Ошибка выявлена по завершении стадии № 4 разработка технического проекта.

Вычисляем финансовые затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной

по завершению стадии № 4 разработка технического проекта, по формуле (1):

$$S_4 = 592 \cdot 240 \cdot 1,18 \cdot 1,3 = 217950 \text{ р,}$$

$$S_4 = 217950 \text{ р.}$$

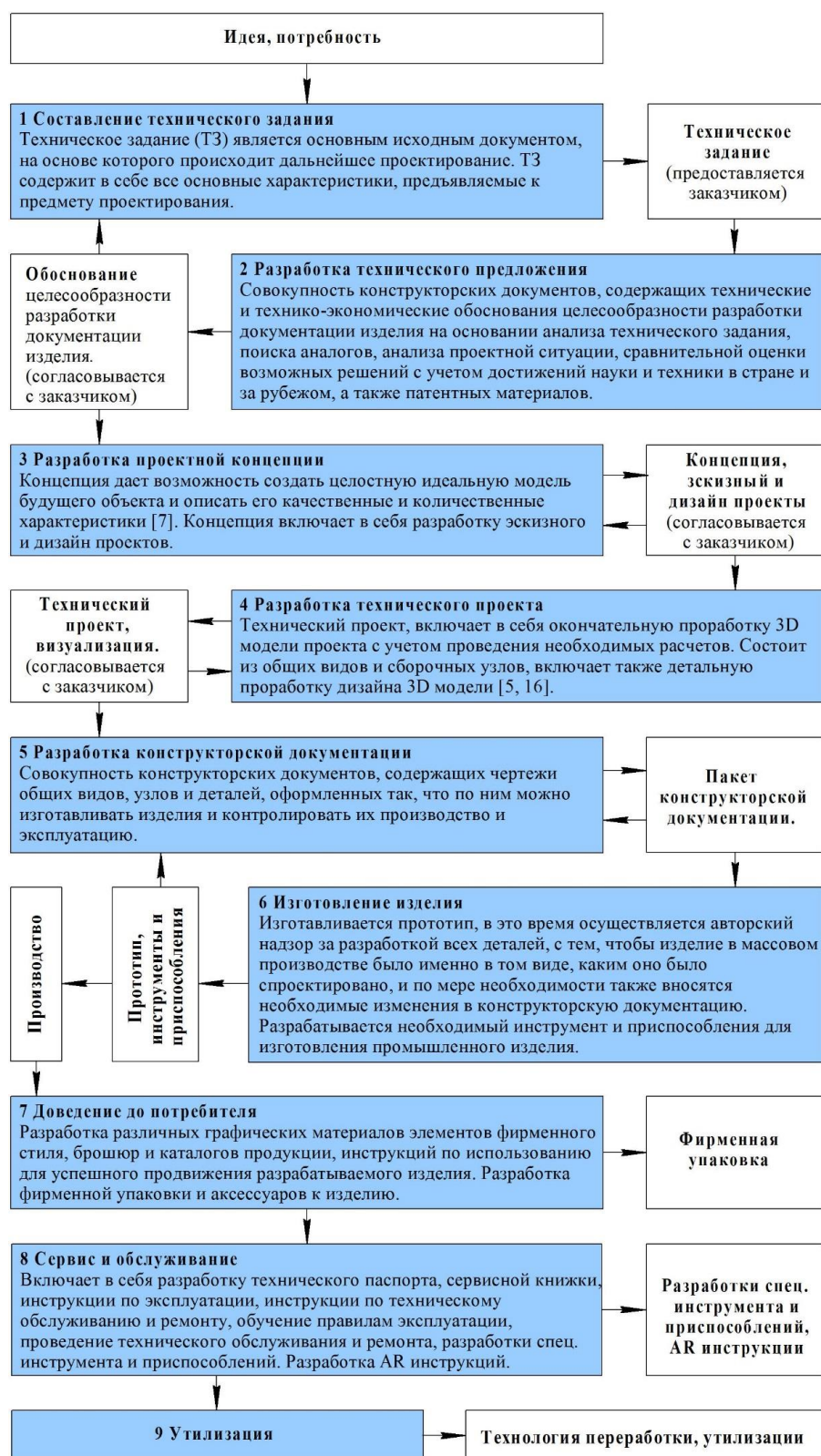


Рисунок 3 Модель процесса проектирования промышленных изделий

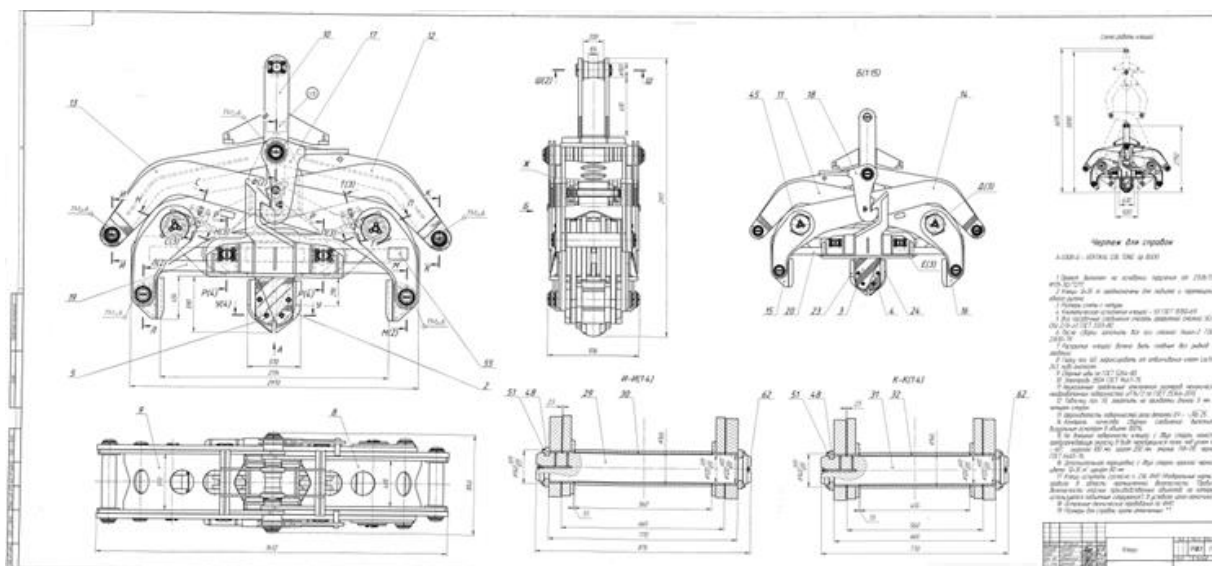


Рисунок 4 Грузозахватное устройство подъема и перемещения рулонов листового металла

Ошибка выявлена по завершении стадии № 5 разработка конструкторской документации.

Вычисляем финансовые затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 5 разработка технического проекта, по формуле (1):

$$S_5 = 3664 \cdot 240 \cdot 1,18 \cdot 1,3 = 1349000 \text{ р,}$$

$$S_5 = 1349000 \text{ р.}$$

Ошибка выявлена по завершении стадии № 6 изготовление.

Финансовые затраты на данной стадии складываются из затрат на проектирование и затрат на изготовление.

Определяем финансовые, затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле:

$$S_6 = S_{\text{пкд}} + S_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где, $S_{\text{пкд}}$ – финансовые затраты на разработку пакета конструкторской документации,

$S_{\text{пр}}$ – финансовые затраты на изготовление грузозахватного приспособления.

Определяем часть финансовых, затрат с вязанных с проектированием, на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле:

$$S_{\text{пкд}} = T \cdot p_n \cdot k_{\text{ам}} \cdot k_{\text{дс}}, \quad (3)$$

Вычисляем часть финансовых, затрат с вязанных с проектированием, на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле (3):

$$S_{\text{пкд}} = 3840 \cdot 240 \cdot 1,18 \cdot 1,3 = 1413734 \text{ р,}$$

$$S_{\text{пкд}} = 1413734 \text{ р.}$$

Определяем часть финансовых затрат, с вязанных с производством грузозахватного устройства, на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле:

$$S_{\text{пр}} = I \cdot p_n \cdot k_{\text{ам}} \cdot k_{\text{дс}} \cdot k_{\text{см}}, \quad (4)$$

где, $k_{\text{см}}$ – коэффициент учитывающий стоимость материалов и инструмента.

Вычисляем часть финансовых затрат, с вязанных с производством грузозахватного устройства, на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле (4):

$$S_{\text{пр}} = 3200 \cdot 250 \cdot 1,18 \cdot 1,3 \cdot 1,4 = 1718080 \text{ р,}$$

$$S_{\text{пр}} = 1718080 \text{ р.}$$

Вычисляем финансовые, затраты на исправление ошибки в ТЗ, обнаруженной по завершению стадии № 6 изготовление, по формуле (2):

$$S_6 = 1413734 + 1718080 = 3131814 \text{ р,}$$

$$S_6 = 3131814 \text{ р.}$$

Обобщенные данные результатов расчетов финансовых затрат, представлены в таблице 1.

Обобщенные данные расчетов финансовых затрат

№ стадии	Наименование стадии	Затраты на исправление ошибки
		Финансовые, руб.
1	Разработка технического задания	-
2	Разработка технического предложения	2945
3	Разработка проектной концепции	5890
4	Разработка технического проекта	217950
5	Разработка конструкторской документации	1349000
6	Изготовление	3131814

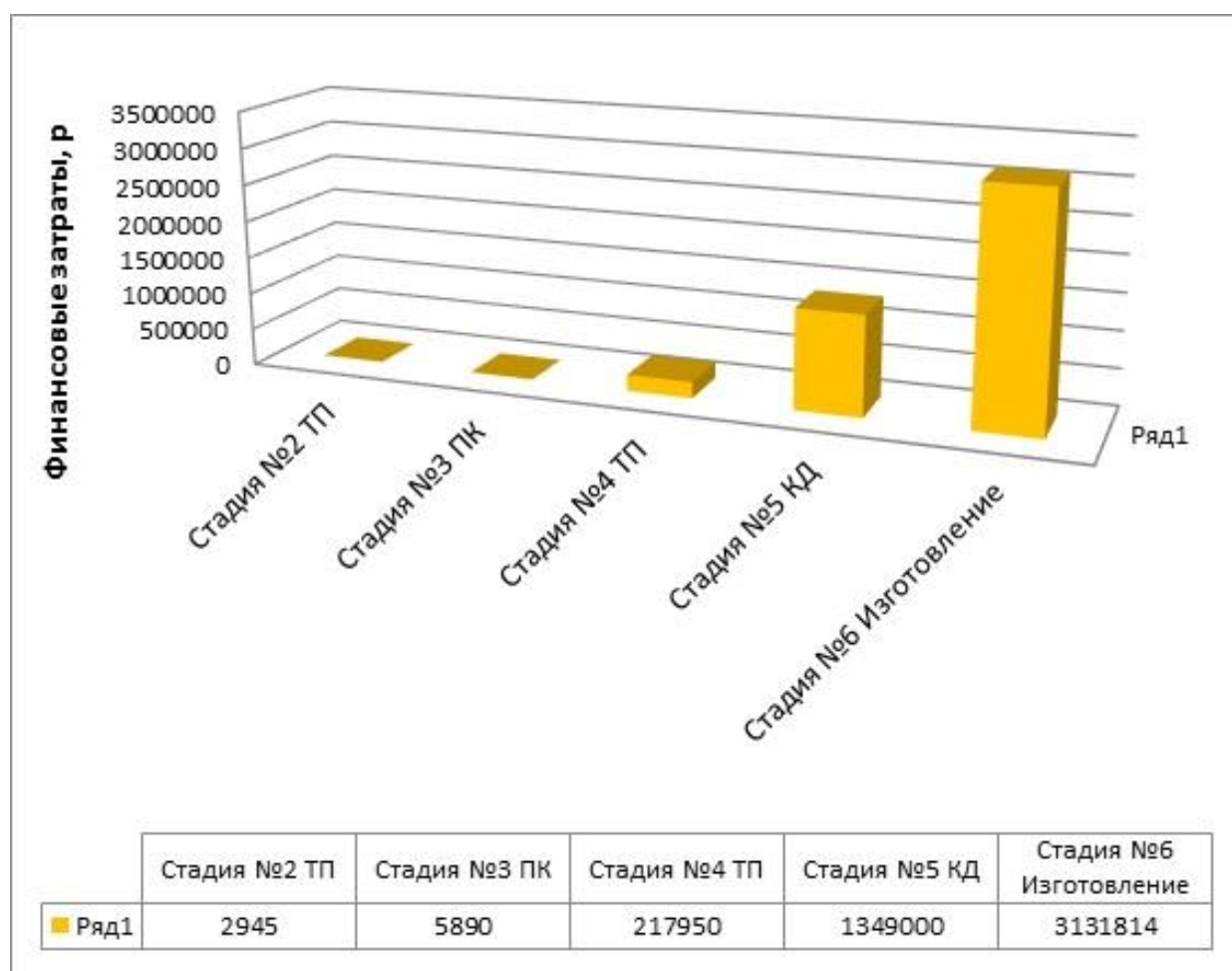


Рисунок 4 Диаграмма финансовых затрат на исправление ошибки допущенной в техническом задании

Методика позволяет исключить допущение ошибки в процессе проектирования, что в свою очередь позволяет получить значительный экономический эффект. Действуя, согласно разработанной методики, нам удалось найти и исправить ошибку в ТЗ, которая привела бы к изготовлению грузозахватного устройства не способного выполнять требуемые функции. А значит

финансовые затраты на проектирование и изготовление грузозахватного устройства переходят в финансовые потери заказчика. Таким образом, применение разработанной методики позволило сэкономить денежные средства заказчика в размере стоимости проектирования и изготовления грузозахватного устройства.

Библиографический список

1. Инжиниринг и промышленный дизайн – 2015 / под ред. В.С. Осьмакова и В.А. Пастухова. – М.; «Onebook.ru», 2015. – 124 с.
2. Аверьянов, О.И. Основы проектирования и конструирования / О.И. Аверьянов, В.Ф. Солдатов. – М.: МГИУ, 2008. – 152 с.
3. Княгинин В.Н. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления «дизайн-барьера»: учеб. пособие / под ред. М.С. Липецкой, С.А. Шмелевой. – С.Пб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
4. Беляев Н.В. Автоматизация эскизно-технического проектирования автогрейдера : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.12 / Беляев Никита Владимирович; [Место защиты: Сиб. автомобил.-дорож. акад. (СибАДИ)]. - Омск, 2009. - 158 с.
5. Лоцманенко В.В., Кочегаров Б.Е. Проектирование и конструирование (основы) : учеб. пособие. / В.В. Лоцманенко, Б.Е. Кочегаров. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004. – 96с.
6. Современные инструменты контроля качества продукции / М.В. Андросенко в сборнике: Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Чевычелов С.А., 2015. — С. 29-31.
7. Новиков А. М. Методология / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. — М. : СИНТЕГ, 2007. — 668 с.
8. Дерябин А. А. Проектирование промышленных изделий в рамках проектно-процессного подхода [Текст] / А. А. Дерябин, Л. В. Дерябина, Е.С. Решетникова // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2017. – № 1 (8). – С. 29-33.
9. Савочкина Л.В. Формирование готовности студентов университета к графической деятельности на основе проектно-процессного подхода: автореферат дис. ... кандидата педагогических наук 13.00.08 / Савочкина Любовь Викторовна; [Место защиты: Магнитогос. ун-т]. - Магнитогорск, 2010. - 24 с.
10. Дерябин А.А., Корчунов А.Г. Трехмерное моделирование как основа проектирования промышленных изделий // Технология. Дизайн. Образование: сб. мат. Всеросс. (очно-заочн.) научн.-практ. конф. 13–14 апреля 2020 г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. - С.180-184.
11. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.
12. Мартин Б., Ханнингтон Б. Универсальные методы дизайна. – СПб.: Питер, 2014. – 208 с.
13. Философский энциклопедический словарь / гл. ред. Л. Ф. Ильичев, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалев, В. Г. Панов — М. : Сов. энциклопедия, 1983. — 840 с.

Information about the paper in English

A.A. Deryabin

Nosov Magnitogorsk State Technical University

Magnitogorsk, Russia

E-mail: Traik2112@mail.ru

Received 23.07.2021

TECHNIQUES FOR DESIGNING INDUSTRIAL PARTS, FACTORING INTO A LIFE CYCLE OF PRODUCTS

Abstract

The paper describes techniques for designing industrial parts, factoring into a life cycle of products. A project process-based approach is used as a methodological background for the design process. A design process model has been developed to determine stages of designing load handling devices and identify their relations.

Keywords: technique, design, life cycle of a part, design of load handling devices

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению материалов представляемых для публикации

1. Материалы предоставляются в электронном виде, оформленные в программе MS Word 97-2003.
2. Объем представленных материалов должен быть не менее 6-ти страниц (в режиме оформления одной колонкой на листах формата А4), включая рисунки и таблицы.
3. Формат листа: А4 (210x297 мм).
4. Межстрочный интервал: одинарный.
5. Размер полей слева, справа и сверху страницы 18 мм, снизу 20 мм.
6. Нумерация страниц осуществляется внизу по центру страницы.
7. Шрифт текста: Times New Roman, размер 12 пт.
8. Отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 10 мм.
9. Формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается, размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов.
10. Рисунки должны быть вставлены в текст и обязательно представлены в виде отдельного файла в формате jpeg, tiff, bmp с разрешением не менее 300 dpi. Наличие подрисовочной надписи обязательно.
11. Не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу.
12. Структура текста.
 - 12.1. Индекс УДК.
 - 12.2. Имя, отчество и фамилия авторов, жирный шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт.
 - 12.3. Наименование организации.
 - 12.4. Город, страна.
 - 12.5. Контактный адрес электронной почты (E-mail).
 - 12.6. Название (должно быть набрано прописными буквами не в режиме CAPS LOCK (SHIFT)).
 - 12.7. Аннотация (объем не менее 100 слов).
 - 12.8. Ключевые слова (не менее 8 слов).
 - 12.9. Введение.
 - 12.10. Основная часть.
 - 12.11. Заключение (Выводы).
 - 12.12. Библиографический список.
13. Библиографический список составляется в последовательности ссылок в тексте. В тексте статьи ссылки на литературный источник заключаются в квадратные скобки. Библиографическое описание регламентировано ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Материалы для публикации направлять по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования».

Контактные телефоны: (3519) 29-85-07, 29-84-51.

E-mail: momz-magtu@yandex.ru, momz-magtu@mail.ru с указанием темы электронного письма «Журнал МОМЗ».

Сайт журнала: www.momz.magtu.ru

Контактное лицо, отв. редактор к.т.н. Слободянский Михаил Геннадьевич.

ПРАЙС-ЛИСТ

на размещение рекламы в журнале
«Механическое оборудование металлургических заводов»

№ п/п	Цветная реклама на обложке издания		Черно-белые внутренние полосы	
	Объем	Цена, руб	Объем	Цена, руб
1	2-ая полоса (формат А4)	8000	1 полоса	6000
2	3-ая полоса (формат А4)	8000	½ полосы	4000
3	4-ая полоса (формат А4)	10000	¼ полосы	2000

Статья рекламного содержания		Реклама на сайте издания			
Объем	Цена, руб	Место расположения рекламного контента	Объем / размер	Срок размещения	Цена, руб
1 полоса	3000	Слайдер на главной странице (изображение)	700 x 380 pixels	1-6 месяцев	4000
				6-12 месяцев	6000

Пример оформления рекламного изображения в слайдере на главной странице сайта издания



- Главная
- О журнале
- Автору
- Архив
- Редакция
- Партнеры
- Контакты

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов"

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является бесплатным изданием открытого доступа.



700 x 380 pixels

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является информационным партнером XIV-го международного конгресса сталеплавателей

Научно-технический журнал MOM3

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. ГИ. Носова» приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в журнале «Механическое оборудование металлургических заводов». Журнал «МOM3» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и ему присвоен международный стандартный номер сериального издания ISSN 2311-1364. Сведения о журнале