

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
КПІ ім.Ігоря Сікорського
Механіко-машинобудівний інститут
Наукова рада з механіки твердого деформівного тіла НАН України
Спілка інженерів – механіків КПІ ім.Ігоря Сікорського
ТОВ «Прогрестех - Україна»
АНТК «Антонов»
Гідросила ГРУП
Всеукраїнський інжиніринговий центр
Федерація роботодавців машинобудівної промисловості
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАНУ
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ
Інститут гідромеханіки НАНУ
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко НАНУ
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАНУ
ВАТ "Український науково-дослідний інститут авіаційної технології"
Отто-фон-Геріке університет, м. Магдебург (Німеччина)
Познанський університет технологій (Польща)
Вроцлавський технологічний університет «Вроцлавська політехніка» (Польща)
Міжнародна кафедра ЮНЕСКО (Київ)

МАТЕРІАЛИ

МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**присвяченої 120 річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та
Механіко-машинобудівного інституту**

ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ОСВІТА

ТОМ 1

**19 – 22 червня 2018 р
Київ, Україна**

ОФІЦІЙНИЙ ПАРТНЕР



УДК 612.7

Міжнародна науково-технічна конференція "Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта", Том 1, м. Київ, 19 – 22 червня 2018 р.: Матеріали конференції – Київ: 2018. – 250с.

До збірника включено матеріали представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень з сучасних проблем механіки деформівного твердого тіла, прогресивної техніки і технології машинобудування, ресурсозберігаючих процесів пластичної обробки матеріалів, актуальних проблем гідроаеромеханіки і мехатроніки, а також проблем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі машинобудування, буде корисним викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

***Підготовка до друку та верстка матеріалів конференції: к.т.н. Юрчишин О.Я.
к.т.н. Семінська Н.В., м.н.с. Бабієнко І.І., к.т.н. Холявік О.В., Мусієнко О.С.***

Адреса оргкомітету: Національний технічний університет України "КПІ",
Механіко-машинобудівний інститут, пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.
Тел. (+38066) 071-23-52. E-mail: seminska@ukr.net

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1	<i>Сучасні проблеми механіки деформівного твердого тіла</i>	
Isaev N.V., Grigorova T.V., Shumilin S.E., Davydenko O.A., Polishchuk S.S.	STRENGTH AND PLASTICITY OF SPD COPPER AT LOW TEMPERATURES	9
Pisarenko G.G., Voinalovych O.V., Maylo A.M.	STOCHASTIC REGULARITIES IN THE NON-CONTACT DETERMINATION OF LOCAL STRAINS IN THE SURFACE LAYER OF STEEL 45 UNDER HIGH-CYCLE LOADING	11
Бородій М. В., Адамчук М. П., Стрижало В. О.	ОПИСАННЯ КІНЕТИКИ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗА ДВОВІСНОГО НЕПРОПОРЦІЙНОГО АСИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЬОВАНОГО ПО НАПРУЖЕННЯМ НАВАНТАЖЕННЯ	14
Maslov B.P.	PREDICTING FATIGUE LIFE OF SHORT FIBER REINFORCED VISCOELASTIC COMPOSITES	18
Бабенко А.Є., Боронко О.О., Трубачев С.І.	ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ	22
Шидловський М.С., Лакша А.М., Мусієнко О.С.	ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖОРСТКОСТІ СТЕРЖНЕВИХ АПАРАТІВ ФІКСАЦІЇ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМІВ	24
Лабарткава А.В., Мартиненко В.О., Коваль С.С., Лабарткава О.В.	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ	27
Мартиненко В.Г.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АНІЗОТРОПНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ	30
Герасимчук О.М., Герасимчук О.М.	ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ЗА НАЯВНОСТІ ГОСТРОГО КОНЦЕНТРАТОРА НАПРУЖЕНЬ	34
Можаровская Т.Н.	ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ 15Х2МФА (Т=550°С) В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ И СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ	37
Ясній П.В., Пиндус Ю.І, Гудь М.І.	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЧАСТОТ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ПІДКРІПЛЕНОЇ ТОНКОСТІННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ТА ЇЇ АФІННО-ПОДІБНОЇ МОДЕЛІ	39
Ковбаса В.П.	РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ПРО ВЗАЄМОДІЮ ДЕФОРМІВНОГО ПРИВОДНОГО КОЛЕСА З ДЕФОРМІВНОЮ ОСНОВОЮ	41
Ковальчук С.Б., Горик О.В.	ПРИРОДНА СИСТЕМА КООРДИНАТ ДЛЯ КРИВОЛІНІЙНИХ КОМПОЗИТНИХ БРУСІВ ІЗ НЕЗМІННИМИ ЛІНІЙНИМИ РОЗМІРАМИ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ	45

Pimanov V.V., Kurihin V.S., Savchenko A.V., Rusakov R.L. SYSTEM FOR REGISTRATION RADIAL FORCES FOR METAL SPINNING PROCESSES	132
Гараненко Т.Р., Кліско А.В., Гордієнко В.О. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ З'ЄДНАННЯ МЕТОДОМ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ МАТЕРІАЛУ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ	134
Dobrov I.V., Semichev A.V., Morozenko O.P., Koptilyu O.V. TO THE QUESTION OF THE MECHANICS OF THE PROCESSES OF WORKING OF MATERIALS BY PRESSURE IN THE STATIONARY DEFORMATION ZONES	137
Сабол С.Ф. ОСОБЛИВОСТІ ВИТЯГУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ МАТРИЦЬ ТА ПУАНСОНІВ З ПРОФІЛЬОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ	140
Ткачѳв Р.О., Кухарь В.В. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОЛИТРАЖНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	143
Алиев И.С., Самоглядов А.Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	146
Кліско А.В., Гожій С.П., Власенко Д.В. СТАТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ	149
Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С. СИЛОВІ РЕЖИМИ ТА НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПРИ ГАРЯЧОМУ ВИДАВЛЮВАНІ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ЛАТУНІ	152
Левченко В.М., Даниленко В.Я., Тарасов М.М., Лактіонов Є.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ АЛЮМІНІЄВОЇ ВСТАВКИ НА ПРОЦЕС ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ БІМЕТАЛЕВОЇ ЗАГОТОВКИ ПЛУНЖЕРА ПОРШНЕВОГО НАСОСУ	155
Архіпова Т.Ф. СТАТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ	158
Калюжний В.Л., Піманов В.В., Куріхін В.С., Тимошенко О.В., Савченко А.В., Русаков Р.Л. РОТАЦІЙНЕ ХОЛОДНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ОДНИМ РОЛИКОМ НА ОПРАВЦІ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ЗІ СТАЛІ 10	160
Лаврінєнков А. Д., Злочєвська Н.К., Шупіченко А.А. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ПРЕСУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ	164
Калюжний В.Л., Потятиник А.М., Руденко І.В. АНАЛІЗ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ХОЛОДНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ВИСТУПОМ НА ДОННІЙ ЧАСТИНІ ЗІ СТОРОНИ ПОРОЖНИНИ	167
Савченко Д.М., Петришин А.І., Холявік О.В., Борис Р.С. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗКИ ТОНКОСТІННИХ ТРУБ НА ЗАГОТОВКИ	171

УДК 621.983

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОЛИТРАЖНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ткачѳв Р.О., Кухарь В.В.

Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

***Аннотация.** По результатам проведенных научных исследований разработана и внедрена в производство новая технология изготовления малолиitraжных баллонов высокого давления использующая операцию обжима трубчатых заготовок с предварительным дифференцированным индукционным нагревом очага деформации. Спроектирован двухслойный индуктор и промышленная установка предварительного дифференцированного индукционного нагрева для разработанного технологического процесса. Определены температурные интервалы предварительного индукционного дифференцированного нагрева очага деформации, обеспечивающие нагрев заготовки с последующим формоизменением, без потери устойчивости. Определена скорость деформирования обеспечивающая сохранение заданного перепада температур и получение обжатой трубчатой заготовки в соответствии с требованием к её геометрическим характеристикам. Спроектированы подогревные штампы, для деформации заготовок применяемых в производстве диаметров, позволяющие сохранять необходимый градиент температур при обжиме. Для получения качественного изделия, повышения производительности труда и увеличения стойкости штампа применены разработанные технологические смазки.*

***Ключевые слова:** обжим, индуктор, дифференцированный нагрев, штамп, скорость деформирования, температурный интервал, технологическая смазка*

Мариупольское предприятие ЗАО «Пожзашита» выпускает огнетушители различного назначения с использованием углекислоты, находящейся в баллонах под рабочим давлением 14,7 Мпа. Баллоны, используемые в огнетушителях, имеют емкость 5, 3 и 2 литра.

В соответствии с ГОСТ баллоны емкостью 2 и 3 литра изготавливаются из трубы \square 108 мм., толщиной стенки не менее 3,4 мм., а емкостью 5 л. из трубы \square 140 мм., толщиной стенки не менее 4,4 мм. Предел прочности стали не менее 638 Н/мм² (65 кгс/мм²).

Условия рынка заставили отказаться от поставки импортных трубных заготовок. Наиболее рациональным было создание собственного производства из цельнокатаных труб, изготавливаемых на местных заводах. В связи с недоступностью обкатных машин было принято решение: изготавливать 2-х, 3-х, и 5-ти литровые баллоны на имеющихся кривошипных прессах (1,6 МН), используя разработки авторов по исследованию обжима концов труб с предварительным дифференцированным нагревом.

Теоретические [1] и экспериментальные исследования [2], позволили установить оптимальные параметры нагрева и формоизменения трубы с большими степенями деформаций вплоть до закрытия полости трубы. Этими исследованиями определены критерии потери устойчивости в зависимости от условий деформирования и значения относительной толщины заготовки, при которой достигается за один переход максимальная степень деформации, например полное закрытие полости трубы – образование днища баллона. По рекомендациям [3], [4] обжим труб со значительной степенью деформации ($D_0/D_T > 2$) может производиться при относительной толщине $S_0/D_0 \square 0,04$; где: S_0 – толщина, D_0 – диаметр трубной заготовки, D_T – диаметр горловины. В нашем случае $S_0 = 4$ мм, $D_0 = 108$ мм, $S_0/D_0 = 0,037$, т.е. относительная толщина S_0/D_0 находится за пределами рекомендуемых значений для обжима с большими степенями деформаций.

В создавшихся условиях можно было использовать способ деформирования с предварительным неравномерным нагревом заготовки [5]. Для этого необходимо тщательно выбрать температурный режим нагрева, определить характер распределения температур по очагу деформаций, подобрать форму обжимаемой части трубы (по ГОСТу она не регламентируется), определить способ нагрева трубы, обеспечивающий заданное неравномерное распределение температур по длине нагретого конца трубы, конструкцию штампа, скорость деформирования, условия трения при штамповке.

При обжиме максимальная степень деформации ограничивается потерей устойчивости в пределах очага деформации или в недеформируемой части заготовки передающей усилие деформирования на инструмент. Анализ напряженного состояния в очаге деформации при обжиме позволил установить картину распределения напряжений. Наибольшие меридиональные напряжения возникают в зоне перехода от деформируемой части заготовки к недеформируемой так как здесь суммируются все напряжения этого рода по очагу деформации. Для того чтобы не произошла потеря устойчивости в виде образования кольцевой складки или выпучивания трубы необходимо повысить сопротивление деформации т.е. не нагревать в этом месте заготовку или греть её в минимальной степени для возможности получения минимальной заданной деформации. При обжиме зона перехода от деформированной части к трубе не должна быть нагрета выше температуры 500-600 °С, при которой величина предела текучести ещё достаточно высока. В зоне наибольших деформаций предел текучести должен быть минимальным и соответствовать значениям при температуре 1000-1200 °С. При температуре 1200 °С даже в процессе скоростного индукционного нагрева образуется слой окалины, неблагоприятно влияющей на стойкость инструмента и внешний вид обжатой части поверхности трубы не подвергающейся в дальнейшем механической обработке. Поэтому для нагрева трубы для обжима горловины оптимальной является температура конца трубы 1000-1050 °С, а для получения днища кромка должна быть нагрета до 1200-1250 °С так как необходимо сваривание кромок под действием напряжений возникающих в стенке трубы при обжиме.

Дифференцированный нагрев трубных заготовок перед деформацией открывает большие возможности, которые недостижимы при деформировании равномерно нагретой или холодной заготовки. Кроме этого дифференцированный нагрев по своей сути является наиболее прогрессивным, что при современных ценах на энергосистемы является немаловажным. Необходимым условием успешного проведения деформации с дифференцированным нагревом является сохранение заданного перепада температур до конца процесса нагрева. Поэтому сам процесс нагрева, перенос заготовки и деформация должны проходить быстро, чтобы в минимальной степени происходил переток тепла из наиболее нагретых зон в наименее нагретые. В современных условиях быстрый заданный неравномерный нагрев может быть достигнут в условиях высокочастотного индукционного нагрева в специальных индукторах.

Вторым важным условием эффективности описываемого процесса деформирования трубы является большая скорость деформирования. Скорость деформирования на универсальных кривошипных прессах (0,2-1 м/с) вполне обеспечивают эти требования. Следует так же отметить, что дифференцированный нагрев необходимо, по возможности, применять при листовой и объемной штамповке и в других видах формоизменения, что приведет к значительной экономии энергоресурсов и снижению стоимости продукции.

Нагрев заготовок при обжиме концов труб производится в высокочастотном индукторе, специально разработанном для данного случая (рис.1). Конструкция индуктора обеспечивает нагрев трубы перед обжимом, при котором на длине около 100 мм реализуется перепад температур 400-500 °С, что необходимо для обжима трубы за один переход с коэффициентов обжима (D_0/D_T) 2 и более. Нагревать нужно быстро, чтобы до деформирования не произошло выравнивание температур, а это сделало бы не возможным интенсивный обжим. Продолжительность нагрева определяется циклом штамповки и составляла в нашем случае 20-25 секунд. При наладке процесса температура нагрева заготовки трубы контролировалась четырьмя термопарами, зачеканенными в стенку трубы на длине нагрева. На нагретой трубе отмечался визуально неравномерное распределение температуры на поверхности (нагрев пятнами). Причины такого нагрева могут быть разные, в том числе, та, что трубы поступают с заводов-поставщиков не отожженные и разностенные по длине окружности в диаметральном сечении. Наши предыдущие исследования показали так же, что неравномерность зазора между индуктором и трубной заготовкой очень сильно влияет на распределение температур, поэтому установлено центрирующее кольцо для точного размещения трубчатой заготовки по оси индуктора. Создана установка для нагрева с вращением трубы скоростью 40-60 оборотов в минуту, которая сняла все вопросы, связанные

с неравномерным нагревом в диаметральной плоскости. Заданная неравномерность нагрева, как предусмотрено технологическим процессом по длине нагретой части трубы, сохранилась.

Индукционная установка работает в полуавтоматическом режиме. Введение заготовки в индуктор, ее вращение, продолжительность нагрева, остановка заготовки по окончании нагрева и извлечение её из индуктора производятся автоматически, а подача холодной заготовки к индуктору и перенос нагретой заготовки на стол штампа – вручную. Питание индуктора производится от тиристорного преобразователя частоты ТПЧ-100-2,4 (мощность 100 кВт, частота 2,4 кГц). Температура нагрева при установленном времени нагрева регулируется величиной изменения тока в индукторе.

Основным ограничением при обжиге конца трубы в обычных условиях является потеря устойчивости в очаге деформации или на необжатой части трубы. Во избежание этого при необходимости значительной деформации в обычных условиях обжим, чаще всего, проводят в несколько переходов с промежуточным отжигом или применяют усложненные конструкции штампов, которые позволяют лишь незначительно увеличить деформацию за один переход без потери устойчивости.

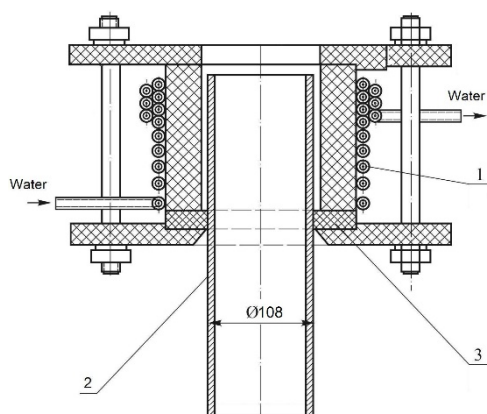


Рис. 1 - Индуктор для предварительного дифференцированного нагрева трубчатой заготовки: 1 - индуктор, 2 - заготовка, 3 - центрирующее кольцо

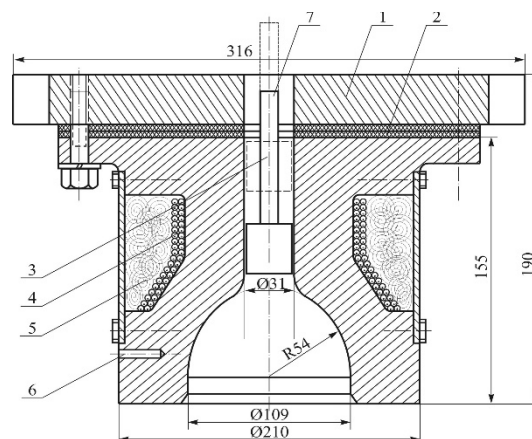


Рис. 2 - Штамп для горловины баллона 2 л: 1 – подштамповая плита; 2 – асбестовая прокладка; 3 – выталкиватель; 4 – нихромовая нагревательная спираль; 5 – асбестовая теплоизоляция; 6 – место для термопары; 7 – выталкиватель

Конструкция нашего штампа (рис.2) и дифференцированный нагрев заготовки позволяет производить обжим до любой заданной степени деформации за один переход, что в несколько раз сокращает расходы на изготовление инструмента, многократный нагрев и другие составляющие технологического цикла.

Важнейшим условием деформирования трубы в таком штампе является сохранение заданной температуры за время обжима. С этой целью штамп нагревается и его температура не должна быть ниже 450-500 °С, а процесс деформирования идти достаточно быстро во избежание чрезмерного остывания кромки деформированной трубы.

Подогрев штампа производится перед штамповкой нихромовыми нагревателями находящимися в штампе, контролируется термопарой и регулируется подаваемым напряжением на нагреватель. В процессе работы, когда температура штампа стабилизируется нагреватели отключаются.

Температура заготовки и штампа являются очень важными факторами влияющими на распределение деформации в зоне формовки горловины и особенно днища баллона. Наиболее благоприятная температура конца трубной заготовки в начале деформации для конструкционных сталей, из которых изготавливаются баллоны, должна быть, 1000-1050 °С, а деформированного участка переходящего в цилиндрическую трубу 600-650 °С, температура штампа 500-550 °С.

Под действием значительных меридиональных напряжений в зонах, примыкающих к обжимаемому концу, создаются благоприятные условия для заполнения полости штампа, где находится горловина с необходимым утолщением стенки или смыкания стенок при формировании днища с дальнейшим свариванием их и закрытием полости.

Для получения качественной горловины баллона, обеспечения большей производительности при эксплуатации штампа не допустим перегрев поверхностного слоя его рабочей части. С этой целью, а так же для снижения расхода электроэнергии и наиболее благоприятного течения металла в горловину производится смазка рабочей поверхности штампа водно-графитовой смазкой ОГВ-75 или ГФП, производимыми на ОАО «Маркограф». Смазка наносится распылением воздухом перед каждой штамповкой. Расход смазки 3-4 грамма на один обжатый конец. Первый штамп был изготовлен из стали 38ХГСА (другой стали не было). Стойкость штампа составила более 15 тыс. изделий. Такая высокая стойкость при горячем деформировании объясняется незначительными нормальными напряжениями на контактной поверхности. Теоретический анализ показывает, что величина этих напряжений зависит от значений меридиональных, тангенциальных напряжений и прямо пропорциональна относительной толщине в месте деформации.

Производство баллонов собственными силами с использованием новой технологии позволило снизить себестоимость продукции и обеспечить выпуск огнетушителей в соответствии с планом.

Список литературы:

1. *А.Д. Кирицев, В.К. Икорский. «Обжим толстостенных труб с неравномерным нагревом очага деформаций» Известия ВУЗов. Черная металлургия. –1965, № 3. – с 11-15*
2. *Е.А. Попов. «Основы теории листовой штамповки». М. Машиностроение. 1968*
3. *М.Н. Горбунов «Штамповка деталей из трубчатых заготовок». Машгиз. М. 1960*
4. *А.Д. Кирицев, Б.С. Каргин, Р.О. Ткачев «Исследование и разработка технологического процесса обжима концов труб из сплава Д16». Вестник ПГТУ, Выпуск №2. Мариуполь 1996. с 126-131*
5. *Е.А. Слухоцкий, С.И. Рыскин «Индукторы для индукционного нагрева» – Л. Энергия. 1974*