

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

Кипин Денис Павлович

**Исследование процесса получения полосы совмещенным методом литья
и деформации металла**

Кафедра «Машиностроение и металлургия»

Направление 15.04.01 – «Машиностроение»

Профиль подготовки – «Машины и технология литейного производства»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание академической степени магистра



2017г.

Работа выполнена на кафедре «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Научный руководитель: Черномас В.В, доктор технических наук, профессор. Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет.

Рецензент: Физулаков Р.А, кандидат технических наук, доцент. Начальник научно – производственной лаборатории конструкционных материалов, научно-производственного отдела ПАО «Компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре Авиационный завод имени Ю.А. Гагарина» г. Комсомольск-на-Амуре.

Защита состоится «27» июня 2017г. в 09 часов на заседании государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, КнАГТУ, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Машиностроение и металлургия» КнАГТУ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. При разработке технологических процессов получения металлоизделий совмещенными методами литья и обработки материалов давлением решающее значение имеет определение рациональных параметров процесса, обеспечивающих гарантированное качество получаемых металлоизделий при устойчивом процессе их производства. Известно, что при изготовлении металлоизделий с применением установки вертикального литья и деформации металла (УВЛДМ) деформирование металла в требуемый профиль поперечного сечения осуществляется с помощью подвижного составного кристаллизатора, который кроме функции теплоотвода, необходимого для кристаллизации металла выполняет функцию и инструмента его деформации. Причем, процесс деформирования металла в кристаллизаторе определяется кинематикой и конструкцией подвижных частей кристаллизатора УВЛДМ и протекает циклично: на первом этапе металл деформируется в твердожидком состоянии, а на втором этапе металл в затвердевшем состоянии подается в зону калибрования, где происходит окончательное формирование профиля сечения металлоизделия. Для реализации устойчивого процесса получения металлоизделий на УВЛДМ наряду с соблюдением оптимальных температурных режимов кристаллизатора, обеспечивающих наиболее благоприятные условия кристаллизации материала металлоизделия, требуется разработка оптимальных условий процесса его пластического деформирования. При заданных параметрах материала металлоизделия и конфигурации его профиля поперечного сечения эти условия определяются кинематической схемой (схемой деформирования) и конструктивными параметрами кристаллизатора УВЛДМ, а также силовыми характеристиками привода его подвижных частей. Определение оптимальных условий процесса деформирования металлоизделия возможно только на основе анализа напряженно-деформированного состояния, формирующегося в системе «деформи-

руемый металл – инструмент деформации» при больших пластических деформациях, что связано с большими трудностями, как из-за отсутствия методик его экспериментального определения, так и из-за сложности расчета этих значений. Кроме того, сложность кинематической схемы и конструкции УВЛДМ не дает возможности получить адекватные данные о скоростях, ускорениях и траекториях движения его составных частей, являющихся инструментом деформации, известными методами теории механизмов и машин из-за чрезмерной идеализации расчетов. В этой связи описание и анализ деформационных процессов, протекающих в системе «деформируемый металл – инструмент деформации» на базе совокупности натурального и математического моделирования с использованием параметрического 3D-моделирования конструкции УВЛДМ, является актуальным направлением исследования.

Целью работы является экспериментальное и теоретическое исследование деформационных процессов, протекающих в системе «деформируемый металл – инструмент деформации» при формировании металлоизделия.

Научная новизна обуславливается следующими положениями:

– установлены закономерности изменения компонент деформаций и энергосиловых параметров при формоизменении образцов металлоизделий из модельного материала марки ССу (ГОСТ 1292-81) в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ;

– установлены закономерности изменения условий контактного взаимодействия материала образца со стенками формообразующего инструмента при их деформировании в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ;

– с использованием расчетного комплекса LS-DYNA получены данные моделирования процесса циклического формоизменения металлоизделия в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ и проведена их верификация.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов основывается на использовании поверенного комплекса контрольно-измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований, использованием современных методов статистической обработки ре-

зультатов экспериментальных исследований, а также соответствием полученных результатов экспериментальных данных фундаментальным положениям механики деформируемого твердого тела.

Практическая значимость. 3D-моделирование конструкции УВЛДМ в САД-системе T-FLEX позволило получить исчерпывающие данные о кинематике подвижных частей установки на основе которых была усовершенствована конструкция экспериментального стенда УВЛДМ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на научной студенческой конференции «Студенческая весна» (Комсомольск-на-Амуре, 2017 г.).

Структура и объём работы. Магистерская диссертация состоит из введения, четырёх глав, списка использованных источников (34 источника). Основной текст изложен на 36 страницах, содержит 2 таблицы и 24 рисунка.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 3 печатных работы.

Личный вклад автора. Автор провел экспериментальные исследования; разработал методики и устройства для проведения экспериментальных исследований, обработал полученные результаты, а также сформулировал выводы.

Основные положения, выносимые на защиту:

- методика экспериментального определения величин компонент деформаций при формоизменении материала в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ на основе метода делительных сеток;
- методика экспериментального определения средней мощности пластического деформирования при формоизменении материала в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ;
- экспериментальные исследования по определению компонент деформаций и энергосиловых параметров при формоизменении образцов металло-

изделий из модельного материала марки ССу (ГОСТ 1292-81) в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ;

- экспериментальные исследования по определению условий контактного взаимодействия материала образца со стенками формообразующего инструмента при их деформировании в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ;

- 3D-моделирование конструкции УВЛДМ в САД-системе T-FLEX;

- моделирование процесса деформирования металлоизделия в калибрующей части кристаллизатора УВЛДМ в расчетном комплексе LS-DYNA;

- верификация результатов моделирования, полученных в расчетном комплексе LS-DYNA.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость.

В **первом разделе** проведен анализ технологических и конструктивных особенностей процесса получения металлоизделий с применением устройств непрерывного литья и деформации металла, описана установка вертикального литья и деформации металла, изложен её принцип работы, проведен анализ патентных и литературных источников.

Во **втором разделе** подробно описаны экспериментальные методики, с помощью которых было проведено данное исследование.

С помощью экспериментальной методики определения деформаций в системе «деформируемый металл – инструмент деформации» определяется значения величины пластических деформаций только в поверхностных слоях материала. Эксперимент проводился на трехслойном составном образце, изготовленный из полос свинцово-сурьмяного сплава марки ССу ГОСТ 1292-81 (толщина каждой полосы 4 мм) (рис. 1).

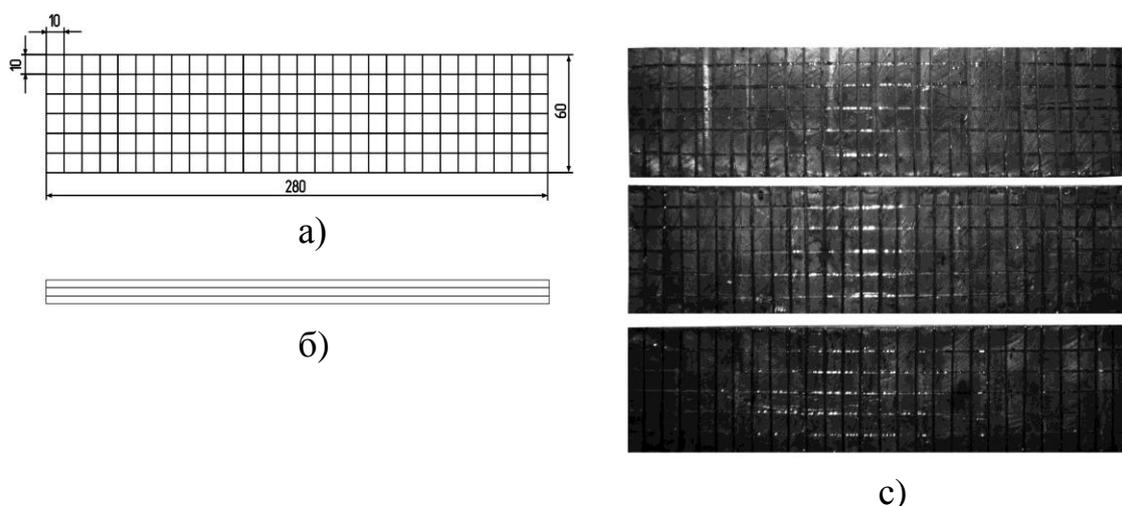


Рисунок 1 – Образец: а) схема координатной сетки слоев образца; б) схема компоновки слоев; с) внешний вид слоев образца

Экспериментальная методика определения средней мощности пластического деформирования. Экспериментальные исследования проводятся следующим образом. Каждый образец помещали в кристаллизатор УВЛДМ, боковые стенки которого предварительно устанавливали в среднее положение, соответствующее повороту эксцентриковых валов на угол 90° , т.е. направлены вверх (рис. 2).

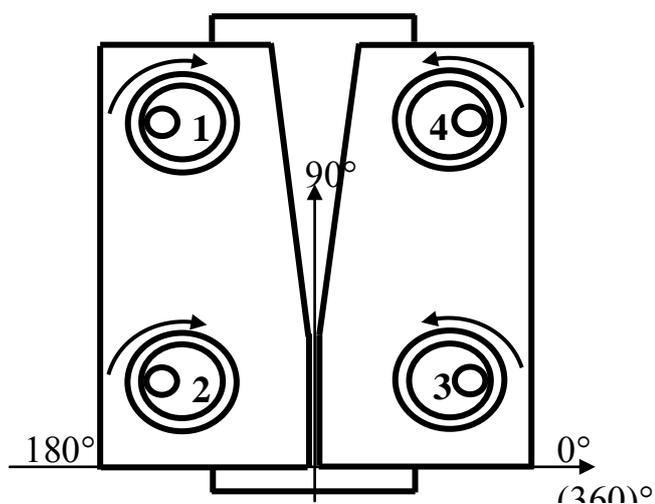


Рисунок 2 – Кинематическая схема УВЛДМ

Затем включали привод составных частей кристаллизатора, при этом образец захватывался, движущимися навстречу друг другу, рабочими поверхностями боковых стенок, деформировался ими и совместно с торцевыми стенками продвигался в сторону зоны калибрования УВЛДМ. В конце цикла обжатия (боковые стенки кристаллизатора находятся на максимальном сближении, а торцевые стенки в крайнем нижнем положении) заготовка окончательно деформировалась боковыми стенками в зоне калибрования. В начале следующего цикла (цикл холостого хода) образец удерживался рабочими поверхностями боковых стенок в зоне калибрования, а торцевые стенки проскальзывали в крайнее верхнее положение. В конце цикла холостого хода боковые стенки кристаллизатора возвращались в исходное положение (на максимальное расхождение друг относительно друга). Затем циклы повторялись до полного выхода заготовки из калибрующей зоны кристаллизатора УВЛДМ.

Экспериментальная методика определения величины истинного сопротивления разрушению сдвигом. В данном эксперименте предлагается считать таким предельным значением истинное сопротивление материала разрушению посредством сдвига. Результатом испытания являются кривые нагружения в координатах «нагрузка-перемещение» с последующим определением величины истинного сопротивления разрушению сдвигом.

В третьем разделе показаны основные этапы построения параметрической 3D модели установки вертикального литья и деформации металла (рис.3).

Работа по данному разделу велась, согласно нижеприведенной схеме:

- определяются конструктивные параметры, оказывающие влияние на процесс получения металлоизделий на УВЛДМ с целью создания основных связей между деталями устройства;

- осуществляется проработка существующих чертежей деталей устройства (анализ геометрии деталей, выполнение эскизов с присвоением уникальных имен параметров и др.);

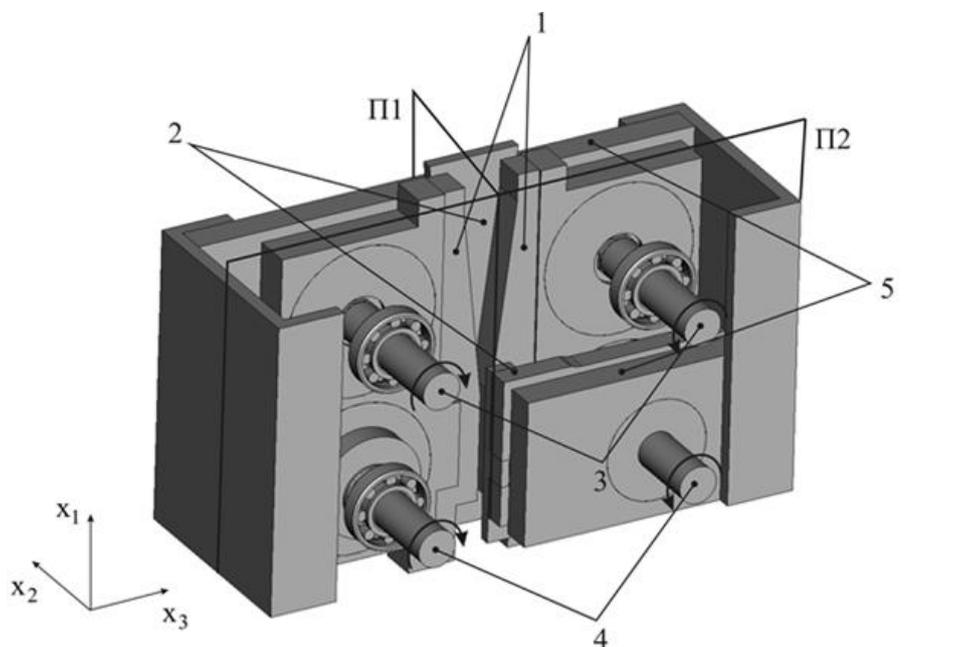


Рисунок 3 – Конструктивная схема УНЛДМ:
1 – боковые стенки (бойки), 2 – подающие плиты,
3, 4 – приводные эксцентриковые валы (верхняя и нижняя пара соответственно), 5 – станина.

- задание параметрических зависимостей между размерами отдельных деталей сборки и установочными размерами металлоизделия;
- создание 3D моделей (фрагментов) деталей устройства;
- создание сборки на основе 3D фрагментов и набора стандартных элементов и создание сопряжений;
- геометрический анализ 3D модели.
- задание материалов модели

Также в этом разделе проведена конструкторская проработка установки, выполнен динамический анализ подвижных частей установки.

В четвертом разделе представлены результаты экспериментальных исследований (натурное моделирование). Выполнены серии испытаний по

осадке цилиндрических образцов согласно ГОСТ 25.503-97 с помощью испытательной электромеханической машины Instron 3382.



Рис. 4 – Внешний вид образцов:

а) плоский образец; б) цилиндрический образец

Проведена серия натурных экспериментов, осредненные по серии данные о силе давления на пуансон приведены на рис. 5. По оси ординат - сила давления на пуансон (в ньютонах), по оси абсцисс - перемещение пуансона (в миллиметрах). Дополнительно проведены стандартные испытания на замер коэффициента сухого трения, полученное значение коэффициента - 0.37.

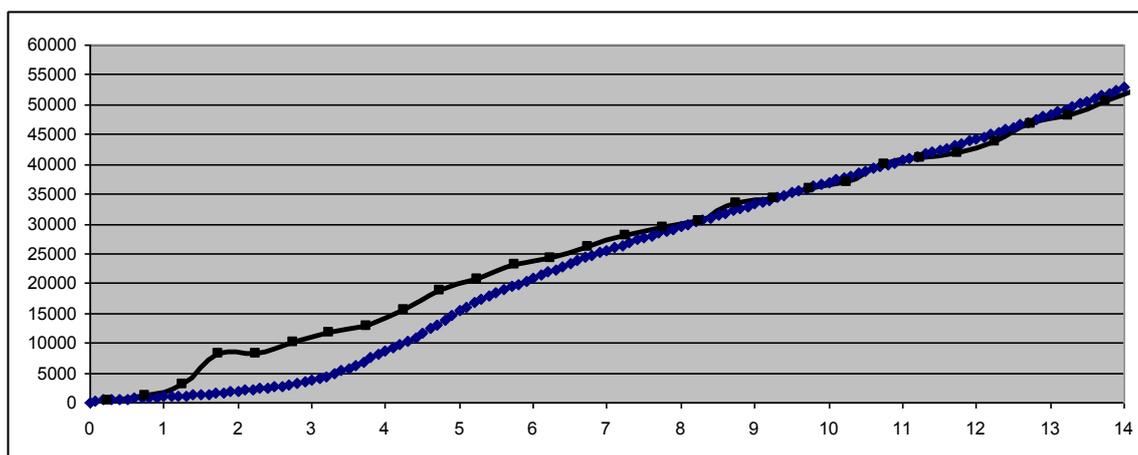


Рисунок 5 – Кривые усилия деформирования:

синий маркер - экспериментально зафиксированные значения,
черный маркер - полученные из расчета в LS-DYNA.

Далее проведена вторая часть исследования - серия численных расчетов в LS-DYNA. Построена модель, описывающая упруго-пластическое деформирования цилиндра в конусной матрице. В качестве параметров контакта задан коэффициент сухого трения и ряд значений предельного касательного напряжения, в том числе - значение в 24 МПа, соответствующее истинному сопротивлению материала разрушению сдвигом. Расчетные результаты по силе давления на инструмент при заданном значении предельного касательного напряжения 24 МПа сопоставлены с реально зафиксированными на рис. 5. Видно высокое количественное соответствие расчетных и экспериментальных значений, что подтверждает адекватность использования для упрочняющегося материала в качестве предельного касательного напряжения при контакте с трением величины истинного сопротивления разрушению сдвигом. Некоторое различие кривых на начальном этапе деформирования объясняется неустойчивостью контакта в начале движения образца. Отметим, что при использовании других значений предельного касательного напряжения (проведены расчеты для значений от 3 до 21 МПа с шагом 3 МПа) такого совпадения не наблюдается.

Внешний вид конечно-элементной модели, построенной в LS-DYNA, приведен на рис. 6.

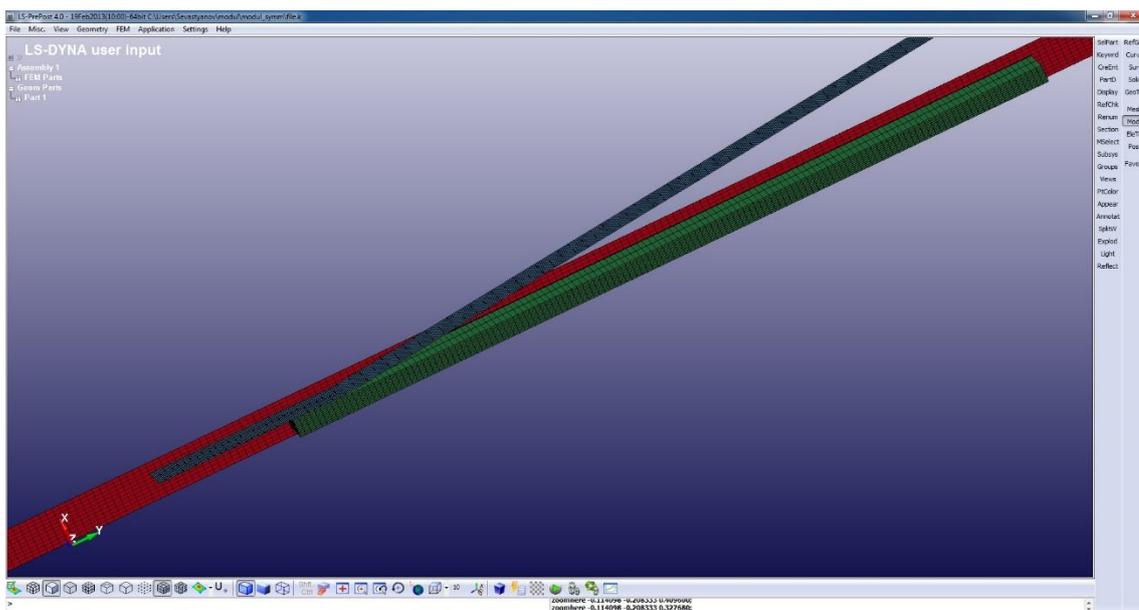


Рисунок 6 – Конечно-элементная модель расчетной области.

В качестве результатов расчета LS-DYNA выдает определенный пользователем спектр бинарных файлов с такими характеристиками процесса, как работа внешних сил, работа сил трения, поля напряжений, накопленных необратимых деформаций и др.

На рис. 7 приведено распределение интенсивности необратимых деформаций по Мизесу в заготовке после установления стационарного режима процесса (третий цикл обжатия).

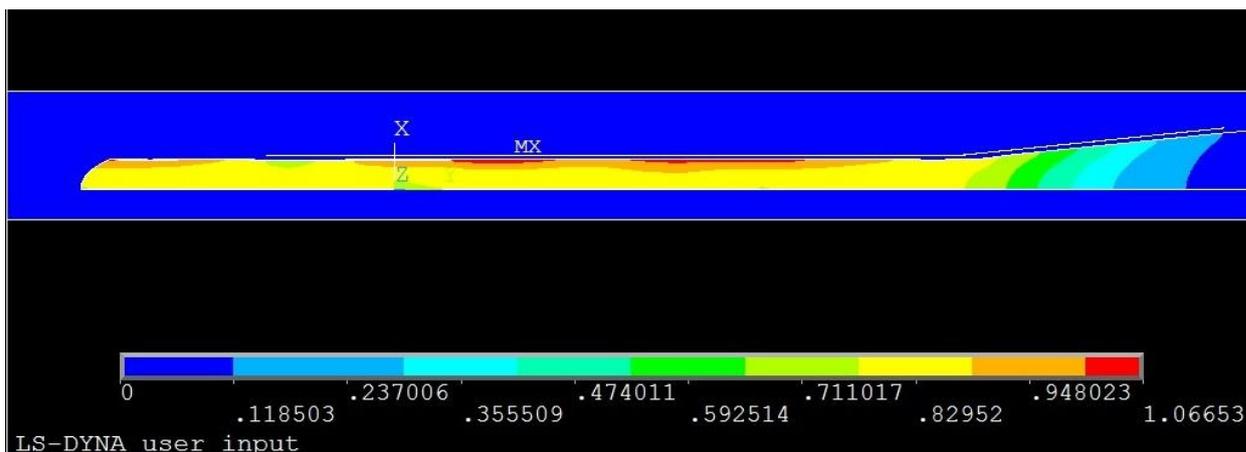


Рисунок 7 – Интенсивность пластических деформаций.

Видно, что расчеты показывают некоторую неоднородность деформированного состояния заготовки по длине, которая наблюдается при некоторых технологических режимах и в реальном процессе (циклическую разнотолщинность заготовки).

Основные результаты работы

1. Разработана методика определения энергосиловых параметров процесса и компонент деформации во внутренних слоях металлической полосы, подвергаемой интенсивному циклическому формоизменению, сопряженному с большими пластическими деформациями.

2. Определен характер необратимого деформирования полосы в рассматриваемых процессах. В частности, установлено, что схему деформирования образца в калибрующей части можно представить как результат совместного удлинения в направлении оси x_1 (со сжатием по оси x_3) и сдвигов в плоскостях, параллельных П1 и П2. При этом влияние сдвиговых деформаций

ций оказывается существенным в обеих плоскостях, что свидетельствует о существенной погрешности предлагавшихся ранее для данного процесса расчетных моделей, основанных на гипотезе плоской деформации.

3. Проведена верификация модели, построенной в программном комплексе LS-DYNA, на полученных экспериментальных данных. Установлен приемлемый уровень соответствия расчетных и экспериментальных значений характеристик.

Публикация по теме диссертации

1. Кипин, Д.П. 3D-проектирование для получения металлоизделий, получаемых процессом непрерывного литья и обработки металлов давлением/ Д.П. Кипин, В.В.Черномас// Научно–техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47–й научно–технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 1–15 апреля 2017 г. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО "КнАГТУ", 2017. – С.359–360.