

## **Учебно-методические рекомендации по изучению дисциплины «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением» для магистрантов**

Предназначены для самостоятельного изучения дисциплины магистрантами заочной формы обучения. Изучение основывается на самостоятельной работе магистрантов, в течение соответствующего семестра (2), по рекомендациям документации, входящей в состав рабочей программы дисциплины (РПД). Исключение составляет практическая форма занятий, которая в обязательном порядке должна проводиться в условиях лабораторий и специализированных компьютерных классов профилирующей кафедры.

Рекомендации определяют порядок работы студента по трём видам процесса образования для дневной формы обучения, предусмотренным рабочей программой изучаемой дисциплины:

1. основного – по изучению лекционного материала,
2. практического – в рамках практических аудиторных занятий,
3. дополнительного – посредством самостоятельной работы (СР) с библиографическим материалом и выполнению текущих заданий практической части учебной программы самостоятельно.

ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ дисциплины изучается в соответствии с рабочей программой дисциплины, входящей в УМКД. Тематический состав лекционного материала, подлежащего самостоятельному изучению, определяется формой 3.1 рабочей программы УМКД. Следует обратить внимание на то, что план, в том числе, лекционного материала в форме 3.1 приводится в сочетании со ссылками на литературные источники формы 6, в которых данные разделы курса излагаются в наиболее полном виде. Самоконтроль знания лекционного материала дисциплины осуществляется магистрантом по опорным вопросам дисциплины, содержащимся в конце рабочей программы, по перечню вопросов экзаменационных билетов, а так же тестовых вопросов.

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ** при самостоятельной подготовке выполняются по требованиям, аналогичным выполнению лабораторных работ. Тематический план практических занятий приводится в форме 3.3 (посредством обозначений формы 3.1), соответствующей рабочей программы, со ссылками на методические руководства в списке литературы (форма б).

Магистрантам следует обратить внимание на то, что протоколы практических занятий (как и лабораторных работ) по мере их выполнения или в конце семестра (по согласованию с преподавателем) должны быть проверены и заверены преподавателем. Магистрант допускается к сдаче зачёта или экзамена (форма контроля определяется рабочей программой дисциплины) только при условии выполнения всех практических (лабораторных) занятий.

**САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (СР)** магистранта определяется изучением тем дисциплины, входящих в содержание дополнительной литературы рабочей программы дисциплины (форма б).

Практические работы (в том числе лабораторного характера) при самостоятельном изучении требуют обязательного их выполнения (экспериментальной части) в лабораторных условиях, для чего время отработки работы заранее оговаривается с лектором дисциплины и согласовывается с аудиторным расписанием лабораторий профилирующей кафедры. При этом, в рамках самостоятельного изучения, магистрант должен заранее изучить теоретическую часть работы самостоятельно, подготовив протокол работы. Выполнение такой работы в лабораторных условиях сводится к проведению экспериментальной части и анализу полученных экспериментальных данных.

Тематический план работ приводится в форме 3.1-3.3, соответствующей рабочей программы, со ссылками на методические руководства в списке литературы (форма б).

Протоколы работы оформляются на листах формата А4 или А5 в рукописном или печатном виде (рабочее поле должно иметь размеры 170×250 или 110×170 мм, левое поле-25 мм). По согласованию с лектором курса

допускается оформлять протоколы в ученических тетрадях стандартного образца. Протокол каждой работы должен состоять из: темы; цели работы; кратких теоретических сведений; порядка выполнения; результатов анализа и выводов. Все необходимые иллюстрации к работе должны быть пронумерованы и иметь название, а в соответствующих местах текста протокола необходимо ссылаться на соответствующий рисунок или таблицу. Перед защитой работ все протоколы сшиваются (если они были подготовлены раздельно друг от друга), в порядке их следования в течение семестра с обязательным оформлением титульного листа. Титульный лист должен содержать: название министерства, название вуза, название кафедры, наименование дисциплины, фамилии бакалавра и преподавателя, под руководством которого выполнены работы, а также название города и учебного года.

Расписание контроля преподавателем самостоятельного изучения дисциплины студентом содержится в деканате соответствующего факультета и на информационном стенде профилирующей кафедры.

**ПЛАН**  
**конспекта лекций по дисциплине**  
**«Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов**  
**давлением» (для магистров)**

**1. Введение.**

- 1.1. Обзор распространённых вариантов оценки эффективности процессов ОМД.
- 2.2. Основные задачи оценки эффективности процессов ОМД.
- 2.3. Направления развития и перспективы методик оценки эффективности процессов ОМД.

**2. Оценка эффективности процессов ОД по соответствию изделий требованиям ГОСТ.**

- 2.1. Горячая объёмная штамповка и ковка.
- 2.2. Холодная объёмная штамповка.
- 2.3. Холодная листовая штамповка.
- 2.4. Спецвиды штамповки.

**3. Оценка эффективности организации схем процессов ОД по степени относительной (сравнительной) рациональности.**

- 3.1. Экономия энергозатрат на реализацию процесса ОМД.
- 3.2. Экономия металлозатрат на изготовление поковок.
- 3.3. Сравнительный анализ макроструктуры поковок нескольких процессов штамповки по косвенным показателям.

**4. Оценка эффективности схем процессов ОД на основе количественной критериальной оценки:**

- 4.1. Условные нормы распределения неравномерности деформированного состояния по сечению поковок в зависимости от показателей сложности их геометрической формы;
- 4.2. Основные рекомендации по организации эффективных процессов штамповки изделий.

Наполнение лекционного материала плана конспекта лекций подробно рассматривается в содержании учебных пособий:

основных:

**Вовченко, А.В.** Совершенствование технологии процессов объёмной штамповки на основе применения гранично-элементных расчётов: монография

/ **А.В. Вовченко.** – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. – 264с.

**Резников Ю.Н.** Оптимизация технологических процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие / **Ю.Н. Резников, Б.С. Мороз, А.В. Вовченко.** – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002.–94с.

**Вовченко А.В.** Методы нелинейного и динамического программирования в расчётах процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие / **А.В. Вовченко.** – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2015.–103с.

дополнительных:

**Резников, Ю.Н.** Моделирование технологических процессов кузнечно-штамповочного производства: учеб. пособие / **Ю.Н. Резников.** – Р. н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 1994.– 94с.

**Резников Ю.Н.** Теория обработки металлов давлением: текст лекций / **Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко.** – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010.–96с.

**Резников Ю.Н.** Инженерная механика твёрдого тела: учеб. пособие / **Ю.Н. Резников, Е.А. Ефремова, А.В. Вовченко.** – Р. н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 1998.-167с.

## Методические рекомендации (практические занятия)

Практическое занятие – одна из важных форм учебного процесса в курсе «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением». На занятия выносятся наиболее важные и сложные вопросы практического применения знаний из области теоретического (лекционного) курса, без которых разобраться в материале дисциплины затруднительно. Занятия ориентируют магистрантов на творческий подход к изучению изложенного лекционного материала. Особое значение при подготовке к практическим занятиям придается самостоятельной работе с источниками и учебной литературой. Практические занятия направляют магистрантов на комплексное рассмотрение всех вопросов курса оптимизации процессов обработки давлением. Они дают возможность студентам эффективно усваивать учебные материалы, овладевать первоисточниками и научной литературой, помогают развивать критерильное мышление в вопросах принятия разнообразных схемно-проектных решений, приобретать навыки мотивированного обоснования выбранной точки зрения в технических вопросах. Главным условием усвоения курса является тщательная подготовка студента к каждому занятию.

Подготовку к занятию следует вести в следующем порядке:

- внимательно ознакомиться с планом занятия, списком рекомендованной литературы, методическими рекомендациями;
- прочитать конспект лекции по теме планового занятия, акцентируя внимание на содержании основного материала, необходимого для освоения поставленных целей;
- важнейшим этапом работы при подготовке к практическому занятию является изучение рекомендованной к каждой теме литературы. Источники и литература оптимизации технологических процессов обработки давлением являются основой достоверных знаний. Помощь обучающимся при подготовке к занятиям окажет рекомендуемая литература, указанная в разделе 6 «Рабочей программы».

При работе над рекомендованными источниками и литературой необходимо помнить, что недостаточно ограничиваться беглым ознакомлением или просмотром текста.

На основе изучения источников литературы необходимо подготовить конспект или протокол, оформив соответствующие записи в нём.

Наиболее трудоемкой частью, но совершенно необходимой, для подготовки к семинару является конспектирование. Конспективная форма

записи требует не только фиксации наиболее важных положений источника, но и фиксации и методологических положений и доказательств. Нередко в конспекте фиксируются и собственные замечания и вопросы, которые в дальнейшем обсуждаются на лекционном или практическом занятиях.

Конспект составляется в последовательности, предусмотренной планом каждой лекционной темы, выносимой на практическое занятие.

К каждому практическому занятию рекомендуются варианты заданий, которые следует выполнять по методике материалов сопровождения каждого из них.

На практических занятиях бакалавр должен:

- принимать активное участие в обсуждении вопросов занятия;
- внимательно следить за обсуждением рассматриваемых особенностей тем;
- уметь вести полемику с оппонентами и мотивированно доказывать свою точку зрения.

Приобретенные знания и навыки повышают познавательную деятельность, дают возможность бакалаврам формировать свои умения и навыки, анализировать факты, использовать научные источники, делать обоснованные выводы, приобретать навыки и знания для такой формы обучения и контроля, как тестирование.

### **Темы практических занятий:**

**1. Изучение влияния эффекта дробности деформации и скорости деформации на энергопотребление процесса штамповки по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить характер влияния технологической дробности и скорости деформации на энергопотребление процесса штамповки поковок.

**2. Изучение влияния эффекта дробности деформации и скорости деформации на распределение деформированного состояния внутри поковок по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить характер влияния технологической дробности и скорости деформации на неравномерность распределения деформированного состояния в поковках.

**3. Изучение методик расчёта энергозатрат на штамповку поковок по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить методику расчёта количественных показателей, характеризующих неравномерность распределения деформированного состояния в готовых поковках.

**4. Изучение методик определения количественной оценки показателя распределения неравномерности деформированного состояния в поковках по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить методику расчёта количественных показателей, характеризующих неравномерность распределения деформированного состояния в готовых поковках.

**5. Изучение методик управления энергопотреблением процессов открытой объёмной штамповки организацией схем формообразования и снижением металлозатрат по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить влияние схем формообразования готовых поковок на энергопотребление и металлопотребление в процессах открытой объёмной штамповки.

**6. Изучение методики критериальной количественной оценки уровня неравномерности распределения накопленного деформированного состояния внутри поковок после горячей объёмной штамповки по результатам численного моделирования.**

Цель работы. Изучить методику оценки уровня неравномерности распределения накопленной деформации по объёму готовых поковок в зависимости от степени их геометрической сложности.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)

Факультет «Машиностроительные технологии и оборудование» (МТиО)

Кафедра «Технологии формообразования и  
художественная обработка материалов»

Методические указания к курсу  
практических занятий по дисциплине

«Оценка эффективности процессов обработки  
цветных сплавов давлением»

Ростов-на-Дону, 2018

УДК 621.73(075.8)

Составители: д-р техн. наук, доцент  
д-р техн. наук, профессор

Вовченко А.В.,  
Резников Ю.Н.

Методические указания к курсу практических занятий по дисциплине «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018.–13с.

Методические указания предназначены для магистрантов дневной и заочной форм обучения по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» программы «Технологии и машины обработки цветных давлением».

УДК 621.73(075.8)

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой «Технологии формообразования и художественная обработка материалов» канд. техн. наук, доцент Г.В. Чумаченко

---

В печать \_\_\_\_.12.2018

Формат 60×84/16 Объем 0.8 усл.п.л.

Тираж \_\_ экз. Заказ №\_\_.

---

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Вовченко А.В., Резников Ю.Н.

© Донской государственный  
технический университет, 2018

## РАБОТА №1

**Численное моделирование процессов пластической деформации методом граничных элементов [1,2,7]**

Цель работы: изучить методику расчёта процесса пластической деформации с применением метода граничных элементов (МГЭ) и рассчитать перемещения и напряжения в граничных и внутренних точках рассматриваемого деформируемого тела.

Материалы, инструмент, оборудование.

1. Условия задач о растяжении плоского кольца внутренним усилием, осадке полосы и квадратной заготовки.
2. Универсальная программа BEM\_PL(2D)<sup>1</sup> [8], реализованная на основе численного метода граничных элементов [9].
3. ПК и принтер.

Общие сведения.

Задача расчёта кинематических и силовых параметров процессов обработки металлов давлением является физически нелинейной и может быть записана в виде суммы линейного  $L(u)$  и нелинейного  $N(u)$  операторов [10]:

$$L(U) + N(U) = P, \quad (3.1)$$

где  $P$  – некоторая известная функция.

Итерационный процесс основывается на представлении уравнения (3.1) в виде

$$L(U) = P - N(U) \quad (3.2)$$

Задаваясь начальным значением  $U_0$  (в частности,  $U_0 = 0$ )

$$L(U_1) = P - N(U_0) \quad (3.2a)$$

Решение повторяется до достижения требуемой точности величины  $U_i$ .

Для решения линейно-упругой задачи ( $L(U)$ ), соответствующей рассматриваемой, применяется гранично-элементное уравнение (ГИУ) [9, С.219]

$$c_{ij} u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_i d\Gamma = \int_{\Gamma} p_i u_{ij}^* d\Gamma, \quad (3.3)$$

где  $p_i = \sigma_{ijn} j$  – усилия в точках границы, определяемые компонентами тензора напряжений и направляющими косинусами к внешней нормали,  $u_i$  – перемещения на границе, а редко исполь-

---

<sup>1</sup> BEM – от Boundary Element Method (метод граничных элементов)

зубый в ОМД внеинтегральный член, определяет перемещение тела в пространстве как целого.

В настоящем решении используется известная аналогия между течением несжимаемой вязкой жидкости и упруго-деформируемым несжимаемым телом (коэф. Пуассона  $\nu = 0.5$ ). Благодаря такому подходу величины  $u_i$  равны скоростям пластического течения в искомым точках на границе области.

Для практического решения интегралы уравнения (3.3) рассматриваются без внеинтегрального члена и заменяются суммами нормальных и касательных компонент напряжений и перемещений, действующих уже на дискретных элементах границы – на граничных элементах (ГЭ) [11]:

$$\sum_{j=1}^N u_s^j \int_{\Delta\Gamma^j} \sigma_s^* d\Gamma + \sum_{j=1}^N u_n^j \int_{\Delta\Gamma^j} \sigma_n^* d\Gamma = \sum_{j=1}^N \sigma_s^j \int_{\Delta\Gamma^j} u_s^* d\Gamma + \sum_{j=1}^N \sigma_n^j \int_{\Delta\Gamma^j} u_n^* d\Gamma, \quad (3.4)$$

где  $N$  – число ГЭ,  $\Delta\Gamma^j$  – их площадь.

Входящие в уравнения (3.3) и (3.4) величины со звездочками полагаются известными, в частности, определяющимися фундаментальным решением Кельвина [9, С.207]. Для решения нелинейной задачи пластической деформации ( $N(U)$ ) используется итерационный цикл, подчиняющийся зависимости:

$$k(a^{n-1})a^n = f^{n-1}. \quad (3.5)$$

Один из способов реализации метода упругих решений – расчёт на основе алгоритма переменной вязкости, переменных параметров упругости и величин поправок к исходным данным. В этом случае соответствующие зависимости имеют вид:

$$U(I)_{n+1} = U(I)_n + \Delta U(I)_n, \quad (3.6)$$

где  $\Delta U(I)_n$  – величина поправки, учитывающая изменение коэффициента жесткости или параметров упругости при формоизменении.

Рассмотренный подход соответствует методу упругих решений А.А.Ильюшина, при котором неупругая задача сводится к последовательности решений упругих. Технологические задачи о больших деформациях при высокой температуре должны рассматриваться как задачи о течении нелинейно-вязкой жидкости, поэтому разрешающие уравнения для задач обработки металлов давлением записываются аналогично тому, как это принято в гидродинамике:

$$\mu_c \cdot \dot{u}_{i,jj} + \sigma_{,j} = -F_i; \quad \dot{u}_{i,i} = 0, \quad (3.7)$$

где компоненты массовой силы в каждой ячейке внутренней области определяются как

$$F_i = -\mu_c \cdot \omega \cdot \Delta \dot{u}_i \quad (3.8)$$

$\mu_c = G = \frac{1}{3}E$  - начальное значение коэффициента жесткости;  $G$  -

модуль сдвига  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ;  $E$  - модуль Юнга  $E = \frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i}$ ;  $\Delta \dot{u}_i$  -

оператор Лапласа для скорости перемещения;  $\omega$  - параметр, характеризующий уменьшение коэффициента жесткости в процессе деформирования, связанное с нелинейностью зависимости  $\sigma_j = f(\dot{\varepsilon}_j)$  для деформируемых материалов

$$\omega = 1 - \frac{\mu}{\mu_c} \quad (3.9)$$

В качестве характеристики вязкости уже деформируемого металла использован известный в теории обработки металлов давлением коэффициент жесткости

$$\mu = \frac{1}{3} \frac{\sigma_j}{\dot{\varepsilon}_j}, \quad (3.10)$$

где  $\sigma_j$  - интенсивность напряжений;  $\dot{\varepsilon}_j$  - интенсивность скоростей деформаций.

Как уже упоминалось выше, расчеты выполняются по методу упругих решений А.А. Ильюшина, с использованием совмещения линеаризующих алгоритмов переменной вязкости и переменных параметров упругости в виде выражений И.А. Биргера [12,13]:

$$\Psi = \frac{3}{2} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i}; \quad E_j = \frac{3E_{j-1}}{3E_{j-1}\Psi - 1 - 2\nu_{j-1}}; \quad \nu_j = \frac{\frac{1}{2} - \frac{1-2\nu_{j-1}}{E_{j-1}} \frac{1}{2\Psi}}{1 + \frac{1-2\nu_{j-1}}{E_{j-1}} \frac{1}{2\Psi}} \quad (3.11)$$

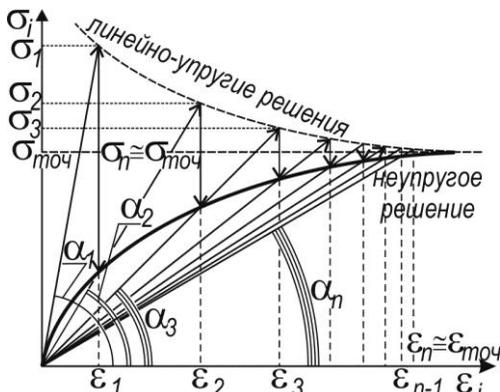
Последовательность вычислений, в связи с этим, можно геометрически представить так, как это сделано на **рис.3.1** с учетом формулы (3.11). Здесь, для каждого текущего итерационного значения деформации и скорости деформации находятся последовательно: величина упругого напряжения; неупругого напряжения с учётом величины его изменения – по реологическому уравнению деформируемого металла известной марки; вызванное этим явлением изменение коэффициента жесткости (3.10), модуля упругости ( $E_j$ ) и остальных значений параметров выражений (3.11), отражающееся на величинах  $\alpha$ . На следующей итерации и в следующем приближении процесс повторяется, но уже от новых значений параметров (3.11) и полагается, что

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{n-1} + \Delta\varepsilon_n. \quad (3.12)$$

Как видно из **рис.3.1**, процесс последовательных приближений (итерационный процесс) сходится к точному значению деформации  $\varepsilon_m$ , если функция непрерывна, а скорость сходимости существенно зависит от вида функции. Если материал обладает большим упрочнением, т.е. кривая мало отклоняется от прямой  $\sigma = E\varepsilon$  (или, что то же самое, функция  $\omega(\varepsilon)$  - мала), то уже 3-4 приближения дают достаточно точное значение деформации. И наоборот, если материал обладает малым упрочнением, то может потребоваться значительное число итераций (приближений) чтобы получить значение деформаций с требуемой точностью [14].

Следует отметить, что рассмотренная методика является универсальной и пригодна для расчёта поковок любой конфигурации.

Обобщённая блок-схема алгоритма гранично-элементного расчёта нелинейной задачи формоизменения приведена на **рис.3.2**.



**Рис. 3.1** Графическая интерпретация процесса последовательных приближений (итерационного процесса) по алгоритму переменных параметров упругости

### Порядок выполнения работы.

1. Изучить методику гранично-элементного расчёта
2. На основе программного решения задач о растяжении плоского кольца внутренним усилием и осадке полосы получить данные о деформировании заданных тел под действием рассмат-

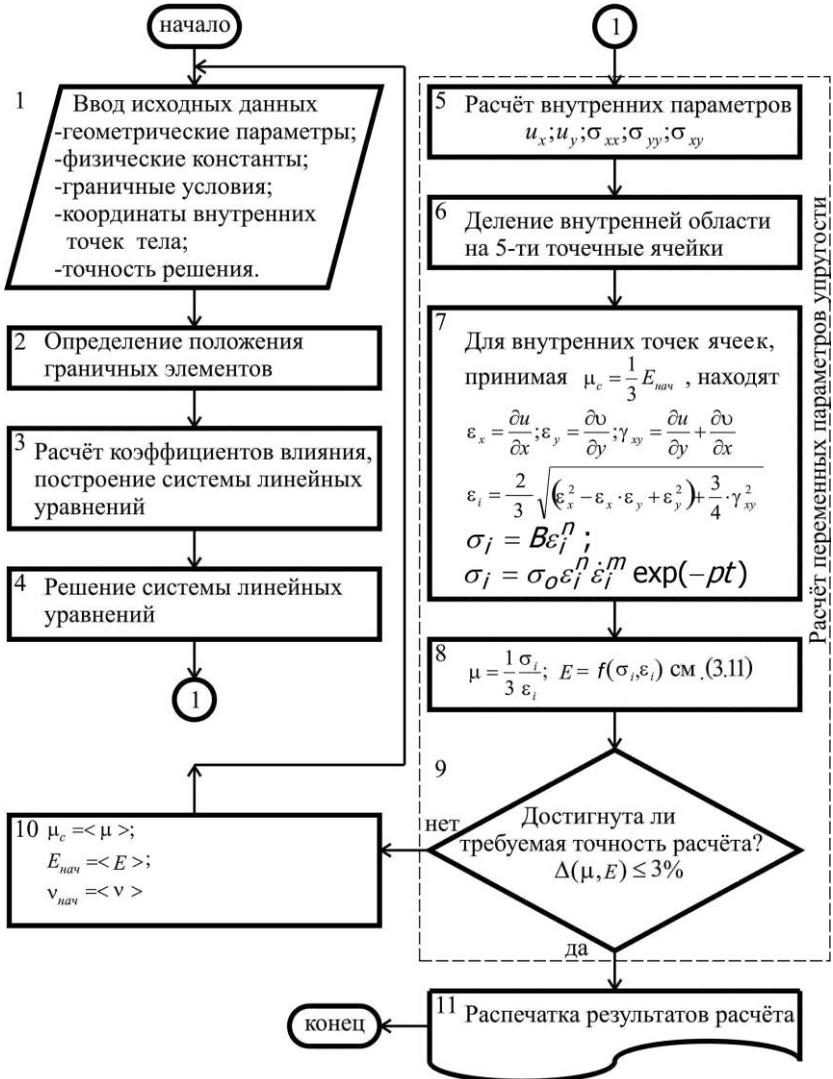


Рис.3.2 Блок-схема алгоритма расчёта задачи формоизменения

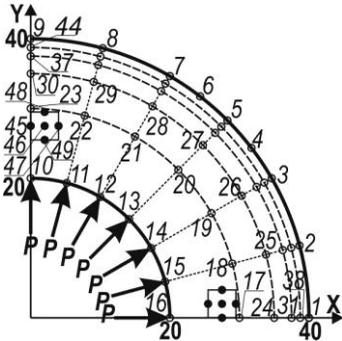


Рис.3.3 К задаче о растяжении плоского кольца

риваемого нагружения.

3. Сделать выводы по работе о характере формоизменения граничного контура и внутренних ячеек.

Условия заданий.

**ЗАДАНИЕ 1.** Задача о растяжении плоского кольца внутренним усилием **рис.3.3**.

Размеры кольца:  $r=20$  мм и  $R=40$  мм; материал – алюминиевый сплав Д16 при  $t=400^{\circ}\text{C}$ ; граничные условия: нормальное напряжение на

внутреннем контуре  $\sigma_n \geq \sigma_m \cdot \ln \frac{R}{r} = 9.8 \cdot \ln \frac{40}{20} = 6.8 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , касательное напряжение  $\sigma_s$  на внутренней поверхности отсутствует;

на наружном контуре  $\sigma_n = \sigma_s = 0$ .

Ниже приводится пример заполнения файла исходных данных для задачи о растяжении плоского свинцового кольца с указанием принятых в нём форматов представления чисел (справа по тексту). Более подробно порядок заполнения аналогичных файлов рассмотрен в методических указаниях [7,15].

	<i>I1</i>	<i>I4</i>	<i>4I5</i>	<i>2F12.4</i>	<i>4I4</i>
0	14	16	38	2	3
				1800.0000	0.4500
				2	0 0 0
					<i>I5 2F10.4 2I5</i>
1	40.0000	0.0000	0	0	
2	38.6370	10.3527	0	0	
3	34.6410	20.0000	0	0	
4	31.7341	24.3505	0	0	
5	28.2842	28.2842	0	0	
6	24.3505	31.7341	0	0	
7	20.0000	34.6410	0	0	
8	10.3527	38.6370	0	0	
9	0.0000	40.0000	0	2	
10	0.0000	20.0000	0	2	
11	5.1764	19.3185	0	0	
12	10.0000	17.3205	0	0	
13	14.1421	14.1421	0	0	
14	17.3205	10.0000	0	0	
15	19.3185	5.1764	0	0	
16	20.0000	0.0000	0	1	

17	30.0000	0.0000	0	1
18	28.9778	7.7646	0	0
19	25.9808	15.0000	0	0
20	21.2132	21.2132	0	0
21	15.0000	25.9808	0	0
22	7.7646	28.9778	0	0
23	0.0000	30.0000	0	2
24	35.0000	0.0000	0	1
25	33.8074	9.0587	0	0
26	30.3109	17.5000	0	0
27	24.7487	24.7487	0	0
28	17.5000	30.3109	0	0
29	9.0587	33.8074	0	0
30	0.0000	35.0000	0	2
31	37.5000	0.0000	0	1
32	36.2222	9.7057	0	0
33	32.4759	18.7500	0	0
34	26.5165	26.5165	0	0
35	18.7500	32.4759	0	0
36	9.7057	36.2222	0	0
37	0.0000	37.5000	0	2
38	38.7500	0.0000	0	1
39	37.4296	10.0292	0	0
40	33.5585	19.3750	0	0
41	27.4004	27.4004	0	0
42	19.3750	33.5585	0	0
43	10.0292	37.4296	0	0
44	0.0000	38.7500	0	2
45	0.0000	17.5000	0	2
46	2.0000	17.5000	0	0
47	4.0000	17.5000	0	0
48	2.0000	19.5000	0	0
49	2.0000	15.5000	0	0
50	15.5000	2.0000	0	0
51	17.5000	2.0000	0	0
52	19.5000	2.0000	0	0
53	17.5000	4.0000	0	0
54	17.5000	0.0000	0	1

---

1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	7	8
8	8	9
9	10	11

10	11	12
11	12	13
12	13	14
13	14	15
14	15	16

0	16
---	----

.		
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.0000
10	0.0000	2.0000
11	0.5176	1.9318
12	1.0000	1.7320
13	1.4142	1.4142
14	1.7320	1.0000
15	1.9318	0.5176
16	2.0000	0.0000

*2I5*  
*I5 2F10.4 2I5*  
*I5 2F10.4*

45	48	47	49	46	0.0000	0.0000	4.0000	4.0000
16.00	0.4500		1800.0000					
50	53	52	54	51	0.0000	0.0000	4.0000	4.0000
16.00	0.4500		1800.0000					

*5I4 4F8.4 F8.2 F7.4 F12.4*

**ЗАДАНИЕ 2.** Задача об осадке полосы (рис.3.4) из аналогичного материала, находящегося в аналогичном температурном режиме. Наружный контур описан 52 граничными элементами, а внутренняя область разбита на 20 ячеек.

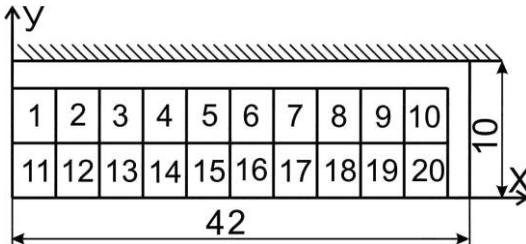


Рис. 3.4 К задаче об осадке полосы

Трение на контактной поверхности – максимальное ( $u_n/2=1.8$ ,  $u_s=0$ ); боковая граничная поверхность – свободная ( $\sigma_n=\sigma_s=0$ ).

Результаты аналитических решения заданий 1 и 2 содержатся в работах [16] и [17], соответственно.

ЗАДАНИЕ 3. Задача об осадке заготовки квадратного поперечного сечения из аналогичного материала осадочными плитами с углублением (рис.3.5), находящегося в аналогичном температурном режиме.

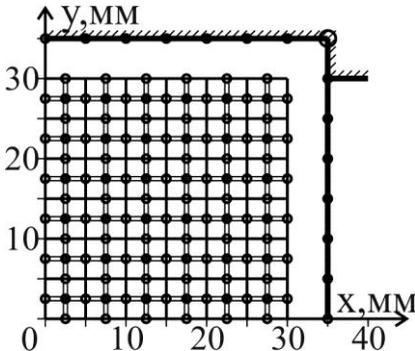


Рис. 3.5 К задаче №3 об осадке

Наружный контур описан 14 граничными элементами, а внутренняя область разбита на 36 ячеек.

Трение на контактной поверхности – максимальное ( $\mu_n/2=1.8$ ,  $\mu_s=0$ ); боковая граничная поверхность – свободная ( $\sigma_n=\sigma_s=0$ ).

#### Содержание отчёта.

Отчёт о выполнении работы должен включать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Перечень материалов, инструментов и оборудования.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Условия задач, решаемых МГЭ.
6. Распечатки файла исходных данных и файла результатов расчёта после достижения сходимости с точным решением.
7. Картины деформированного состояния граничного контура и внутренних ячеек сечения изделия.
8. Выводы по работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Резников Ю.Н. Моделирование технологических процессов кузнечно-штамповочного производства: метод. указан. к лабораторным работам / Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко. – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2007.–23с.
2. Резников Ю.Н. Моделирование технологических процессов обработки металлов давлением: метод. указан. к практическим занятиям / Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко. – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2013.–26с.
3. Сегал В.М. Исследования пластического формоизменения металлов методом муара / В.М. Сегал, Е.М. Макушок, В.И. Резников. – М.: Металлургия, 1974. – 200с.
4. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Т.1 Физико-механические основы пластической деформации / С.И. Губкин – М.: Металлургиздат, 1961. – 376 с.
5. Технологический справочник по ковке и объёмной штамповке / Под общ. ред. М.В.Сторожева. – М.: ГНТИМЛ, 1959.–971с.
6. Смирнов-Аляев Г.А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский. – Л.: Машиностроение, 1972.–360с.
7. Резников Ю.Н. Применение метода граничных элементов в механике твёрдого тела: Ч.II. Кусочно-линейная аппроксимация граничного контура: метод. указан. к лабораторной работе / Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко. – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2004.–8с.
8. Свидетельство РФ № 2012661391 о гос. регистрации программы для ЭВМ. Модуль программного постадийного решения прямых и обратных задач пластического формоизменения металла методом граничных элементов (нелинейная реологическая модель) / А.В. Вовченко (RU). – Заявка № 2012619255; поступила 29.10.2012; зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 13.12.2012.
9. Бреббия К. Методы граничных элементов. Пер. с англ. / Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л.- М.: Мир, 1987.–524с.
10. Бреббия К. Применение метода граничных элементов в технике: пер. с англ. / К. Бреббия, С. Уокер – М.: Мир, 1982. – 248с.
11. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твёрдого тела: пер. с англ. / С. Крауч, А. Старфилд.–М.: Мир, 1987.–328с.

12. Писаренко Г.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести / Г.С. Писаренко, Н.С. Можаровский. – Киев: Наукова думка, 1981. – 496с.
13. Биргер И.А. Некоторые общие методы решения задач теории пластичности / И.А. Биргер // Прикладная математика и механика. – 1951. – 15. – Вып.6. – С.765–770.
14. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности: учеб. для строит. спец. вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400с.
15. Вовченко А.В. Основы моделирования процессов обработки давлением: метод. указан. к выполнению курсовой работы / А.В. Вовченко, О.И. Катрич. – Ростов н/Д; Изд. центр ДГТУ, 2018.–19с.
16. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением: учеб. для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 423с.
17. Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности: методы расчёта усилий деформирования / Е.П. Унксов. – М.: ГНТИ МЛ, 1959. – 328с.
18. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для вузов / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 239с.
19. Блантер М.Б. Методика исследования металлов и обработки опытных данных / М.Б. Блантер. – М.: Metallurgizdat, 1952 . – 444с.
20. Гарнаев А.Ю. Использование MS Excel и VBA в экономике и финансах / А.Ю. Гарнаев. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 1999. – 336с.
21. Шофман Л.А. Основы расчёта процессов штамповки и прессования / Л.А. Шофман. – М.: МАШГИЗ, 1961.–340с.
22. Степанский Л.Г. Расчёты процессов обработки металлов давлением / Л.Г. Степанский. – М.: Машиностроение, 1979. – 215с.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

Кафедра «Технологии формообразования  
и художественная обработка материалов» (ТФиХОМ)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И ЗАДАНИЯ**  
к контрольной работе  
по дисциплине  
**«Оценка эффективности процессов обработки  
цветных сплавов давлением»**

Ростов–на–Дону, 2018

Составитель: д-р техн. наук, доцент Вовченко А.В.

Рабочая программа и задания к контрольной работе по дисциплине «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением». / Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2018.–8с.

Рабочая программа и задания к контрольной работе по дисциплине «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением» предназначены для студентов магистерской формы обучения по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» ОПОП «Технологические машины и оборудование обработки давлением».

Печатается по решению методической комиссии факультета  
«Машиностроительные технологии и оборудование» (МТиО)

Научный редактор – д.т.н., профессор Мороз Б.С.

Рецензент – к.т.н., доцент Пасхалов А.С.

© Вовченко А.В., 2018

© Издательский центр ДГТУ, 2018

## 1. Общие сведения

Дисциплина «Оценка эффективности процессов обработки цветных сплавов давлением» относится к циклу специальных дисциплин. Программа по дисциплине составлена в соответствии с основной профессиональной образовательной программой, сформированной на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Целью дисциплины является обучение магистрантов заочной формы умению и навыкам оценивать эффективность технологических процессов и решений в области обработки давлением (ОД) как с позиций их соответствия действующим требованиям и нормам, так и показателям перспективной рациональности (относительной) и оптимальности по корректно используемым показателям.

В задачи дисциплины входит достижение умения магистрами проводить оценку процессов ОД по показателям степени их проектной рациональности и оптимальности по таким параметрам, как металло- и энергозатраты на непосредственную реализацию процесса и повышение прочностных и эксплуатационных характеристик изделий вследствие требуемого распределения по их объёму деформационного упрочнения. Отмеченное достигается как посредством применения современных расчетных методов для определения эффективных технологических режимов обработки, так и в результате рассмотрения конструктивности принимаемых решений: технологических, технических и эксплуатационных характеристик, массогабаритных и экономических показателей и пр.

Дисциплина базируется на знаниях магистрантов, полученных при изучении таких базовых дисциплин как «Технологияковки и объемной штамповки» и «Технология листовой штамповки», «Кузнечно-штамповочное оборудование».

Дисциплина изучается студентами заочного отделения в 2 семестре. В процессе изучения дисциплины выполняется одна контрольная работа. По дисциплине читаются обзорные лекции, проводятся практические занятия.

Изучение дисциплины завершается зачётом.

## 2. Рабочая программа

### *2.1 Введение.*

2.1.1. Обзор распространённых вариантов оценки эффективности процессов ОМД.

- 2.1.2. Сравнение требований ГОСТ к изделиям общего и ответственного назначений
- 2.1.3. Основные задачи оценки эффективности процессов ОМД
- 2.1.4. Направления развития и перспективы методик оценки эффективности процессов ОМД
- 2.1.5. Развитие критериев оценки процессов ОМД
  - 2.2 *Оценка эффективности процессов ОД по соответствию изделий требованиям ГОСТ.*
    - 2.2.1. Горячая объёмная штамповка и ковка
    - 2.2.2. Изготовление поковок шестерен
    - 2.2.3. Холодная объёмная штамповка
    - 2.2.4. Холодная листовая штамповка
    - 2.2.5. Изготовление деталей глубокой вытяжкой
    - 2.2.6. Специальные виды штамповки
      - 2.3 *Оценка эффективности организации схем процессов ОД по степени относительной (сравнительной) рациональности.*
        - 2.3.1. Экономия энергозатрат на реализацию процесса ОМД
        - 2.3.2. Снижение потребных усилий и работы деформирования
        - 2.3.3. Экономия металлозатрат на изготовление поковок
        - 2.3.4. Снижение размеров облоя до рациональных значений: причины и следствия
        - 2.3.5. Сравнительный анализ макроструктуры поковок нескольких процессов штамповки
        - 2.3.6. Оценка макроструктуры и критерии, её заменяющие на стадиях проектирования технологий
      - 2.4 *Оценка эффективности схем процессов ОД на основе количественной критериальной оценки*
        - 2.4.1. Условные нормы распределения неравномерности деформированного состояния по сечению поковок в зависимости от показателей сложности их геометрической формы
        - 2.4.2. Статистические модели, определяющие пределы неравномерности распределения накопленной деформации внутри поковок
        - 2.4.3. Основные рекомендации по организации эффективных процессов штамповки изделий
        - 2.4.4. Дополнение требований ГОСТа рекомендациями по повышению эффективности процессов ОМД.

### 3. Задания к контрольной работе<sup>1</sup>

#### Вариант № 1.

1. Понятие оптимальных и рациональных решений в оценке эффективности процессов ОД [1,8].
2. Примеры оптимизации процессов обработки металлов давлением методом линейного программирования (привести не менее 3) [1].

#### Вариант № 2

1. Методики оценки геометрической сложности поковок и полуфабрикатов (рассмотреть не менее двух вариантов) и их применение в технологических и статистических расчётах оценки эффективности процессов объёмной штамповки [2,4,7,3].
2. Пример оптимизации форм заготовок на основе алгоритма обратной прогонки, изготавливаемых вытяжкой из листового материала: технологическая идея подхода, метод определения и преследуемые цели [1].

#### Вариант № 3

1. Применение метода деформируемого многогранника в оптимизационных расчетах течения металла при прессовании [1].
2. Пример многошаговой оптимизации процесса объёмной штамповки по показателям равномерности распределения накопленного деформированного состояния [8,1,2].

#### Вариант № 4

1. Метод первичной оценки эффективности процесса объёмной штамповки поковок по показателю неравномерности распределения накопленного деформированного состояния, по результатам экспериментов и математического моделирования [2].
2. Пример многошаговой оптимизации процесса объёмной штамповки по энергосиловым показателям [8,1,2].

#### Вариант № 5

1. Варианты методик и критериев оценки неравномерности распределения накопленного деформированного состояния внутри поковок [2].
2. Пример одношаговой оптимизации процесса объёмной штамповки поковки, со сложной формой поперечного сечения [8,1].

#### Вариант № 6

1. Оптимизация быстродействия режима работы реверсивного прокатного стана [8,5].

---

<sup>1</sup>**ВНИМАНИЕ!** Вариант контрольной работы выбирается согласно порядковому номеру фамилии студента в списке группы (№1÷10). В случае, если номер в списке превышает количество вариантов контрольной работы, то задание выдаётся преподавателем студенту индивидуально.

2. Пример определения эффективных условий реализации операций кузнечной вытяжки прутков радиально-вырезными бойками (по результатам численного моделирования) [2].

#### Вариант № 7

1. Оптимизация быстродействия рольганга в одном пропуске реверсивного стана [8,6].

2. Пример оценки эффективности процесса многоканального прессования по результатам прямого численного моделирования: цели, задачи и результаты исследований [2,13]

#### Вариант № 8

1. Основные термины, общие положения и принципы эффективной организации в прокатном производстве [8].

2. Пример оценки эффективности процесса электровысадки утолщений по результатам прямого численного моделирования: цели технологии, задачи, основные проблемы и результаты исследований [2,6].

#### Вариант № 9

1. Задача оптимального распределения деформаций между волокнами многократного проволокочильного стана [8,5].

2. Пример оценки эффективности процесса объёмной штамповки по критерию относительной протяженности стадии доштамповки (фазы однонаправленного течения металла в ручье открытого штампа): методы прогнозирования, преследуемые цели и основные результаты [2].

#### Вариант № 10

1. Основные расчётные зависимости метода холодной обкатки труб на оправку: анализ прямого и обратного процесса обкатки [9].

2. Общие положения и принципы эффективного проектирования волочильного производства: основные понятия, термины, методы предварительной оценки и разновидности технологических способов [8,15].

#### Рекомендации к выполнению контрольных заданий

В процессе выполнения заданий контрольной работы студент должен учитывать, что рекомендуемые ссылки на литературные источники к каждому из вопросов являются лишь первичной информацией (первичными источниками). Для подготовки полного ответа на вопросы заданий, студенту необходимо изучить не только литературу, на которую ссылаются авторы первичного источника, но и подготовить самостоятельный литературный обзор по тематике анализируемого задания (вопроса).

В рекомендуемом перечне литературы приводятся также источники, ссылки на которые в заданиях к контрольной работе отсутствуют. Они содержат частичные данные, относящиеся к темам рабочей программы дисциплины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Резников Ю.Н. Оптимизация технологических процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие / Ю.Н. Резников, Б.С. Мороз, А.В. Вовченко. – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 94с.
2. Вовченко А.В. Совершенствование технологии процессов объёмной штамповки на основе применения гранично-элементных расчётов: монография / А.В. Вовченко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. – 264с.
3. Резников Ю.Н. Моделирование технологических процессов кузнечно-штамповочного производства: Учеб. пособие Ростов н/Д, Изд. центр ДГТУ, 1994. – 94 с.
4. Тетерин Г.П. Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объёмной штамповки / Г.П. Тетерин, П.И. Полухин. – М.: Машиностроение, 1979. – 284 с.
5. Колмогоров В.Л. Механика процессов обработки металлов давлением: учеб. для вузов / В.Л.Колмогоров.–М.: Металлургия, 1986. – 688с.
6. Резников Ю.Н. Теория обработки металлов давлением: текст лекций / Ю.Н.Резников, А.В.Вовченко. – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010.– 96с.
7. Алиев Ч.А. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объёмной штамповки / Ч.А. Алиев, Г.П. Тетерин. – М.: Машиностроение, 1987. – 224с.
8. Вовченко А.В. Методы нелинейного и динамического программирования в расчётах процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие / А.В. Вовченко. – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2015.–103с.
9. Механика пластических деформаций при обработке металлов. / Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
10. Сторожев М.В., Попов Е.А., Теория обработки металлов давлением. 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
11. Журавлев А.З. Основы теории штамповки в закрытых штампах. М. «Машиностроение», 1973. 224 с.
12. Пеев В.М. Специальные виды холодной штамповки: учеб. пособие / В.М. Пеев. – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999.–106с.

13. Резников Ю.Н. Инженерная механика твердого тела: учеб. пособие / Ю.Н. Резников, Е.А. Ефремова, А.В. Вовченко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 167 с.

14. Резников Ю.Н. Методические указания «Расчет технологических процессов обработки металлов давлением методом верхней оценки» / ДГТУ, Ростов-на-Дону, 1997. –13 с.

15. Резников Ю.Н. Методические указания «Расчет инженерным методом коэффициента запаса прочности при волочении» / ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2000. -7с.