

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
(СГАУ)

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИИ И  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Электронные методические указания  
к проведению практических занятий

**САМАРА  
2012**

УДК 669:001.4

Составитель: **Носова Екатерина Александровна**

**Современные проблемы металлургии и материаловедения.**

[Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к практическим занятиям/ Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Е.А.Носова. - Электрон. текстовые и граф. дан. (272 кбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В пособии приведены методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Современные проблемы металлургии и материаловедения».

Учебное пособие предназначено для студентов 4 факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» и изучающих дисциплину «Современные проблемы металлургии и материаловедения» во 2 семестре.

Разработано на кафедре ТМиАМ.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация занятия в форме деловой игры	4
2. Варианты примерных заданий	5
3. Проведение занятий по темам исследований магистерских работ	22

## 1. Организация занятия в форме деловой игры

Деловая игра позволяет раскрыть в студентах творческие инженерные способности, т.к. задачи, возникающие на производстве или в деловой сфере не всегда имеют однозначное решение. Вместе с тем, в процессе обучения, студенты - магистранты могут «примерить» на себя как роль руководителя проекта, так и роль эксперта, оценивающего реальность предлагаемых оппонентами решений. Также деловая игра имеет целью научить студентов продавать свои научные и творческие достижения и умения, что позволяет им становиться более коммерчески успешными.

Для проведения занятия в форме деловой игры группа студентов делится на подгруппы (творческие коллективы) количеством 5-6 человек. Обеим подгруппам выдаётся задание из приведённых во второй части настоящих указаний. Далее группы решают задачу отдельно (желательно предоставить дополнительную аудиторию). Для того, чтобы не было похожих или одинаковых решений, коллективы дают предварительные решения или их проекты.

Затем происходит представление проектов решений. Для оценки полученных проектов каждая подгруппа выделяет по 1-2 человека – «экспертов». После представления проекта-решения «конкуренты» и «эксперты» задают вопросы и высказывают свои мнения. После чего аналогично представляет свой проект другая подгруппа. В расчёте на 2-часовое занятие в группе из 15 человек рекомендуется следующее распределение аудиторного времени:

№ п/п	Этап выполнения	Затрачиваемое время, мин
1	Постановка задачи, уточняющие вопросы, формирование коллективов	5-10
2	Подготовка проекта	10-15
3	Представление проекта коллективом №1	10-15
4	Вопросы и обсуждение проекта №1	10-15
5	Представление проекта коллективом №2	10-15
6	Вопросы и обсуждение проекта №2	10-15
7	Совместное обсуждение обоих проектов, оценка экспертов	10-15

При большей численности студентов в группе можно рекомендовать увеличить количество подгрупп-коллективов и уменьшить продолжительность всех этапов.

## 2. Примерные варианты заданий

Задания, предложенные здесь являются ориентировочными. Они состоят из описания технической (коммерческой, научной или творческой) проблемы в целом и непосредственно постановки задачи.

### Задание 1

#### *Производство титановых зубных имплантов спиральной формы малых размеров.*

Материал – технический титан ВТ1-0, ВТ1-00. Технический титан обладает ГПУ-решёткой, в связи с чем является малопластичным, что создаёт трудности при получении ажурных изделий из них для медицинских целей методами ОМД. Конструкция дентальных имплантатов во многом обусловлена не только медико-биологическими требованиями, но и возможностями современных технологий.

Биологические, прочностные и биомеханические свойства имплантационных материалов имеют большое значение, но не менее важным аспектом является обработка этих материалов при изготовлении имплантата.

Известно, что некоторые, даже очень простые технологические приёмы обработки биоинертных металлов, например, титана, могут значительно повысить индекс биофункциональности материала и тем самым обеспечить необходимую прочность имплантата. Это особенно важно, так как дентальные имплантаты, имея небольшой объём и площадь сечения, должны выдерживать значительную динамическую нагрузку.

Кроме того, при помощи некоторых технологических приёмов можно оптимизировать биологические и остеокондуктивные свойства материала.

Особое значение при конструировании дентальных имплантатов придаётся их поверхности, которая во многом определяет не только прочностные свойства имплантата, но и условия для адсорбции биомолекул и адгезии клеток окружающих имплантат тканей. Кроме того, форма и структура поверхности внутрикостной части имплантата существенно влияют на способность к согласованному взаимодействию биомеханической системы «зубной протез – имплантат – костная ткань».

Поэтому основными задачами производства дентальных имплантатов являются:

- увеличение индекса биофункциональности материала имплантата;
- создание микроструктуры поверхностей имплантата, адекватной типу окружающих тканей;
- создание макроконструкции имплантата, имеющей достаточную удельную площадь поверхности для адекватного биомеханического взаимодействия с костной тканью. Применяемый в медицине технически чистый титан содержит около 99,95% титана, а в качестве основных примесей кислород, азот и железо в минимальных количествах. Содержание

некоторых других элементов (кальций, алюминий, водород, молибден и др.) в технически чистом титане составляет не более тысячных долей процента.

Таблица 1 – Механические свойства некоторых биосовместимых и биологических материалов

Материал	Предел прочности на сжатие (МПа)	Модуль упругости (ГПа)	Относительное удлинение (%)	Коэффициент Пуассона
Металлы и их сплавы				
Титан (grade 2)	275-450	102-110	15-30	0,34
TiAl <sub>6</sub> V <sub>4</sub>	860-1000	105-117	10-15	-
Цирконий	-	89	-	0,33
Нерж. сталь	600-1050	200-500	16-40	0,33
CoCrMo	690	210-235	35-55	-
Керамика и полимеры				
ZrO <sub>2</sub>	350-400	-	<1	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	350-400	380	<1	-
Сапфир	480	414	<1	-
Сверхвысокомолекулярный полиэтилен	24-35	1	<1	-
Гидроксиапатитная керамика	375	100	<1	-
Биоматериалы				
Биокоралл	110-395	100	<1	-
Кость челюсти (компактный слой)	18-50	0,179	-	-

Задание: Предложить варианты получения таких изделий наиболее экономичным способом.

## Задание 2

### *Бесслитковая прокатка высоколегированных алюминиевых сплавов*

Непрерывное литьё металлов и сплавов - процесс получения слитков и заготовок, основанный на равномерном перемещении металла относительно зон заливки и кристаллизации. При этом литейная форма может быть неподвижной или закономерно перемещаться (возвратно-поступательное движение с небольшой амплитудой, вращение, движение по замкнутой кривой ограниченной длины).

Непрерывное литьё металлов и сплавов в СССР и за рубежом начали применять в промышленности в 1930-х гг.; широкое распространение оно нашло в середине 40-х гг. Н. л. теоретически позволяет получать отливки сколь угодно большой длины; практически длина отливок определяется возможностями литейного производства, требованиями обрабатывающих цехов и организационно-экономическими соображениями. Получение

отливок ограниченной длины методом Н. л. иногда неправильно называют полунепрерывным литьём. Равномерные скорости подачи, жидкого металла, его кристаллизации и удаления готовой отливки при Н. л. обеспечивают постоянство состава, строения и свойств металла по всей длине отливки. Путём усиленного отвода тепла (благодаря непосредственному охлаждению металла водой) можно повысить скорость кристаллизации и при правильно выбранной скорости литья создать направленную кристаллизацию, в основном вдоль оси отливки, что обеспечивает получение плотных слитков или заготовок с тонким внутренним строением зерна и равномерным химическим составом. Помимо того, непрерывное литьё по сравнению со штучным литьём, сокращает количество отходов и потерь металла, затраты рабочей силы, литейной оснастки и инструмента.

В зависимости от формирующих отливку устройств различают непрерывное литьё в кристаллизатор (изложницу), валки, жёлоб (ручей), между движущимися лентами. Наиболее распространено литьё в металлический кристаллизатор скольжения, которое применительно к сталеплавильному производству получило название непрерывной разливки стали. Разработан и внедрён (для алюминиевых сплавов) принципиально новый вариант непрерывное литьё с формообразованием слитка в электромагнитном поле — литьё в электромагнитный кристаллизатор (*рис. 1*). Процесс отличается следующими особенностями: отсутствует контакт между кристаллизующимся слитком и стенками металлической формы, что исключает образование грубых поверхностных дефектов; расстояние от мениска металла до пояса непосредственного охлаждения водой очень мало, благодаря чему повышается скорость кристаллизации; металл кристаллизуется в электромагнитном поле с принудительным движением расплава в объёме лунки, что обуславливает мелкозернистую структуру металла.

В современной металлургии все слитки алюминиевых и магниевых сплавов, а также большую долю слитков тяжёлых цветных сплавов отливают методом Н. л. При получении слитков тугоплавких металлов и титана непрерывное литьё в инертной среде или вакууме обычно совмещают с процессом непрерывной плавки. В этом случае заполнение формы определяется не скоростью разливки расплава, а скоростью расплавления расходуемого электрода или шихты, подаваемой в зону плавления. Для алюминия, меди и сплавов на их основе всё большее распространение получают совмещенные процессы отливки заготовок и последующей их прокатки. К таким процессам относятся получение катанки (когда заготовка формируется в ручье обода вращающегося колеса), получение листовой заготовки путём кристаллизации металла в валках или между двумя охлаждаемыми водой лентами. Литьё между лентами позволяет достигнуть наибольшей производительности совмещенного процесса в результате увеличения длительности контакта между затвердевающим металлом и лентой. По этому принципу работают машина конструкции американского инженера С. Хэзлитта, машина Всесоюзного научно-исследовательского и

проектно-конструкторского института металлургического машиностроения (рис. 2) и др. Иногда совмещенные процессы относят к беслитковой прокатке; однако при этом деформации подвергается уже затвердевший металл, в то время как первоначально под беслитковой прокаткой понимали деформацию металла при его затвердевании.

Из-за неравновесной кристаллизации в высоколегированных алюминиевых сплавах образуется грубая эвтектика, ликвация, усадочные поры.

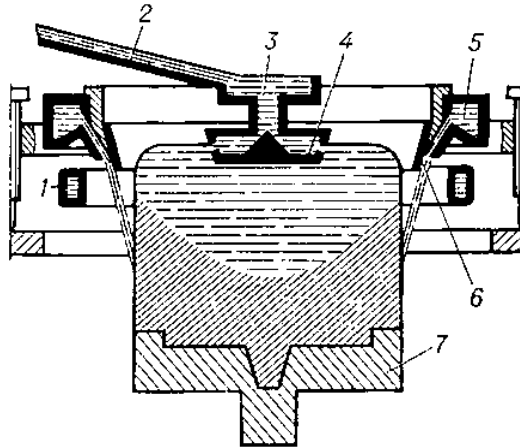


Рис. 1. Схема непрерывного литья в электромагнитный кристаллизатор: 1 — индуктор; 2 — лоток; 3 — распределительная коробка; 4 — плавающая чаша; 5 — коллектор; 6 — направляющий конус; 7 — поддон.

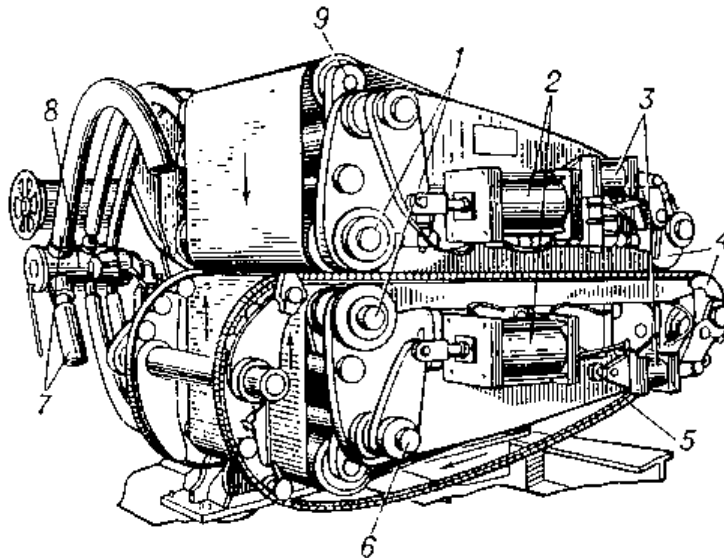


Рис. 2. Общий вид машины непрерывного литья широких полос с ленточным кристаллизатором: 1 — входные шкивы; 2 — гидравлические цилиндры натяжения рабочих лент; 3 — пневматические цилиндры центрирующих устройств рабочих лент; 4 — выходные шкивы; 5 — подвижные боковые ограничители; 6 — нижний натяжной ролик; 7 — шланги, подающие воду в машину; 8 — водяной коллектор; 9 — верхний натяжной ролик.



Бесслитковая прокатка - получение металлических прутков, заготовок или ленты заливкой жидкого металла в зазор между вращающимися в разные стороны горизонтальными прокатными валками. Б. п. впервые осуществлена в 1855, когда по методу Г. Бессемера был получен стальной лист толщиной 1 мм, длиной 1,2 м. Сущность бесслитковой прокатки — в совмещении литья, кристаллизации и деформации металла в одном процессе. Первая экспериментальная установка бесслитковой прокатки в СССР появилась на металлургическом заводе «Серп и молот» в Москве в 1938. Разливка стали, выплавленной в электрической печи, производилась через стопорный в промежуточный ковш и далее через разливочное устройство в валки стана диаметром 900 мм и длиной бочки 300 или 800 мм, из которого были получены полосы толщиной 1,5—6 мм.

Бесшликовая прокатка чёрных и цветных металлов не получила распространения из-за неудовлетворительного качества поверхности полос и неприемлемых для промышленности технических решений. Наиболее целесообразной оказалась непрерывная разливка стали, впервые освоенная в Советском Союзе.

#### Литература

1. Непрерывное литье алюминиевых сплавов, под ред. С. М. Воронова, М., 1945;
2. Германн Э., Непрерывное литье, пер. с нем., М., 1961; Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М., Литейное производство цветных и редких металлов, М., 1972.
3. Большая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия. 1969—1978.

Задание: Предложить методы внепечной обработки для устранения и предотвращения перечисленных дефектов.

#### Задание 3

*Получение мелкозернистой структуры в алюминиевых сплавах с размером зерна 50 мкм и меньше*

Необходимо минимальное рассеяние значений. В настоящее время алюминиевые сплавы имеют размер микроструктуры порядка 200-500 мкм. Для повышения механических свойств и снижения склонности сплавов типа дюралюминов или высокопрочных (имеющих в составе медь) к межкристаллитной коррозии предлагается снизить размер зерна до 20 мкм. При этом отклонения от среднего значения не должны превышать 10%.

#### Задание 4

*Раскатка бронзовых колец для сепараторов авиационных подшипников*  
Летательные аппараты (ЛА) представляют собой сложную конструкцию, требующую больших практических знаний и технологических

нововведений, позволяющих повысить безопасность машины, её надёжность, продлить эксплуатационный срок службы, учитывая экономическую целесообразность работы. Одну из определяющих ролей при этом играют заготовки, поступающие от поставщиков материалов. Из-за низкой потребности в некоторых типоразмерах прессованных профилей из медных сплавов производитель вынужден отказываться от выпуска мелкосерийных партий. Потребитель таких изделий, например, изготовитель специальных подшипников, вынужден получать заготовки под сепараторы на своём производстве. Многие отечественные заводы, производящие авиационные детали, оснащены технологическим оборудованием, доставшимся ещё со времён СССР. Однако повышенная ответственность авиационных деталей требует комплексного подхода к технологии их изготовления.

Одной из таких деталей ЛА является подшипник двигателя, надёжность которого является одной из определяющих при работе всей конструкции. Подшипник специального назначения работает в условиях повышенных температур от 150 до 200°С в масляной среде, исходя из этого, следует, что материал подшипника был подобран таким образом, чтобы он отвечал требуемым условиям его успешной эксплуатации.

Сепаратор такого подшипника изготавливают из бронзы марки БрАЖМц-10-3-1,5, поставляемой в виде прессованного профиля (ГОСТ 1208-90). При несоответствии диаметра трубы требуемым размерам производитель должен ввести в технологию дополнительную операцию раскатки.

При точении закупленных профилей нужного размера наружные поверхности, в которых механические свойства не удовлетворяли требованиям технологии, удалялись. При раскатке колец меньшего диаметра оказалось, что их твёрдость не укладывается в требуемый диапазон.

Задание: Предложить варианты технологии раскатки для получения необходимых свойств в заготовках.

## Задание 5

### *Учёт и распределение остаточных напряжений*

В процессе точения детали типа цанга на станке с ЧПУ возникла сложность с получением требуемой геометрии. Цанга изготавливается из обычной хромистой нержавеющей стали 20Х13 (30Х13, 40Х13). Заготовками являются сплошные и полые прутки. Изготовление цанги требует получения замка крепления, обточку наружного и внутреннего диаметров и продольную проточку рёбер жёсткости. Рёбра жёсткости работают как упругие элементы, зажимающие предмет при движении рабочего инструмента, и отпускающие его, при обратном движении инструмента. Нарушение геометрии происходит в последний момент обработки: рёбра жёсткости загибаются внутрь. Возможные причины – наличие остаточных сжимающих напряжений по внутреннему диаметру полый заготовки (у сплошной поковки эффект тот же самый), либо наличие растягивающих напряжений по наружному диаметру.

Задание: Предложить варианты решения проблемы: устранение остаточных напряжений, их перераспределение, рекомендации при составлении программы.

#### Задание 6

##### *Создание корректной компьютерной модели производства мелкогабаритных деталей*

Направленность современной техники на упорядочиванию (наноструктурированию) материалов обусловлена необходимостью снижения габаритов изделий, тем самым сокращению массы конструкции при сохранении заданной прочности и жёсткости. При этом возникает необходимость получения изделий с новым, более сложным профилем (или более сложной конфигурацией) – ячеисто –каркасные, тонкостенные, с коротким шагом резьбы и навивки и т.п. Для того, чтобы успешно реализовать процесс получения таких деталей методами ОМД, широко используются компьютерные программы симуляции (моделирования).

Однако они при всех своих достоинствах позволяют создавать модели при сечении изделия более 4 мм в любом линейном направлении (минимальная толщина полки профиля, толщина проволоки и т.п.) и не учитывают масштабный фактор. При меньших значениях линейных размеров погрешность оказывается более 30%.

Задание: Предложить способы решения проблемы, например, для волочения тонкостенной трубы с толщиной стенки от 1 до 0,5 мм.

#### Задание 7

##### *Разработка и учёт масштабного фактора*

Лабораторные исследования процессов литья, ОМД и термообработки позволяют достичь требуемых результатов в условиях единичного и мелкосерийного производства. Перенесение разработанных технологий для средне- и крупносерийного производства приводит к возникновению непредвиденных проблем (недоштамповки, захолаживание, неравномерные свойства по сечению и по длине профиля, закручивание профиля, волнистость листа и т.п.). Решение подобных проблем требует внесения в расчёт технологии так называемого масштабного фактора.

Задание: Предложить методы и способы учёта, а также этапы, на которых это можно сделать на примере своих разработок (магистерских исследований).

#### Задание 8

##### *Производство высокотекстурированных алюминиевых сплавов и получение из них изделий методами холодной листовой штамповки*

Требования современных конструкторов связаны с внедрением и широким применением в авиации и ракетно-космической технике новых анизотропных материалов на основе алюминия, магния, титана и бериллия, эффективность использования которых была и остаётся весьма низкой.

Так, в авиационной промышленности из-за отходов и брака коэффициент использования металла (КИМ) составляет примерно 40-50%. На самом деле эти потери ещё выше, т.к. надо прибавить ещё 8-15% безвозвратных потерь металла, обусловленных необходимостью увеличения размеров заготовок для компенсации локальной анизотропии деформационных характеристик исходных заготовок. Другими словами, половина произведённого в России металла уходит в отходы и безвозвратные потери.

Прежде всего, это касается алюминиевых сплавов, являющихся основой для производства всех видов авиационной и ракетно-космической техники. Благодаря своим уникальным свойствам - лёгкости и высокой удельной прочности – они незаменимы при изготовлении силового набора и обшивок планера самолёта, обечаек, обтекателей, баков и силовых деталей корпусов ракет-носителей.

Применение алюминия, судя по его запасам в земной коре, в этих и других отраслях народного хозяйства могло быть и более масштабным, если бы оно не сдерживалось высокой стоимостью алюминиевых полуфабрикатов, обусловленной большими отходами и безвозвратными потерями металла на стадии переработки.

Проведённые многочисленные исследования показали, что высокие потери металла обуславливаются особенностью строения алюминиевых полуфабрикатов. Эта особенность заключается в том, что при традиционной технологии прокатки в листах формируется такой состав текстуры, в котором всегда преобладают неблагоприятные кристаллографические ориентировки, способствующие преимущественному развитию деформации по толщине листа. При последующем формообразовании таких листов и лент они быстро утоняются и разрушаются, что и является причиной высокого брака и больших технологических отходов.

Неблагоприятное влияние анизотропии свойств, например, при выполнении операций глубокой вытяжки алюминиевых лент, проявляется в изменении толщины стенки детали при вытяжке, поэтому для компенсации чрезмерного утонения в опасном сечении необходимо завесить толщину исходной листовой заготовки на 10-13% (безвозвратные потери). Для компенсации впадин, образующихся по верхнему краю детали, необходимо увеличить диаметр заготовок на 15-20% (технологические потери). Аналогичные проблемы возникают при изготовлении деталей планера самолёта методами гибки, обтяжки, формовки и отбортовки.

Из-за неблагоприятной текстуры и анизотропии свойств ухудшаются также эксплуатационные характеристики и качество изделий, ограничивается предельная степень деформации в процессах обработки давлением. В ряде случаев вообще не достигаются заданные параметры формообразования, что

не позволяет изготавливать новые виды продукции. Например, в 80-х годах не удалось изготовить детали кузова автомобиля ВАЗ-2108, и соответствующая государственная программа была свёрнута. В 90-х - из-за отсутствия технологии прокатки высокотестурированных лент не смогли изготовить алюминиевые банки под напитки и т.д..

Однако не всё так фатально. Из опубликованных результатов исследования состава текстур в алюминиевых полуфабрикатах следует, что в них наряду с преобладанием неблагоприятных ориентировок, имеются идеальные ориентировки с высокими значениями показателей анизотропии. Такие ориентировки будут препятствовать утонению и разрушению листовых заготовок при формообразовании.

Такое положение дел в сфере материаловедения и металлообработки сложилось вследствие того, что существующая теоретическая база и созданные на её основе технологии не позволяют формировать структуру и физико-механические свойства листов и лент в соответствии с требованиями их эффективного формообразования в последующих схемах пластической деформации

Задание: Предложить способы получения изделий глубокой переработки с рациональным использованием всего комплекса свойств и структурных возможностей алюминиевых сплавов.

#### Задание 9

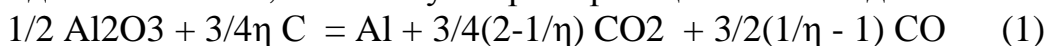
##### *Безэлектролизные способы получения алюминия*

Получаемый в настоящее время алюминий производится путём электролиза сложных солей из минералов алюминия. В связи с чем «алюминиевые» заводы тяготеют к источникам дешёвой электроэнергии, в то время как потребитель алюминия находится за тысячи километров от его производителя. Уникальные физические и химические свойства алюминия определяют устойчивый рост его производства и потребления [9]. В будущем он не станет меньше, т.к. производство металла на душу населения все еще крайне мало в таких странах, как Китай, Индия, Индонезия, Пакистан, и на всем Африканском континенте. Отличительные особенности процесса Эру-Холла, господствующего в производстве алюминия:

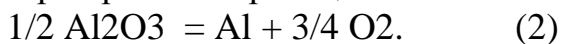
1. Высокий удельный расход энергии (около  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг Al}$ ), что в условиях складывающегося в мире дефицита энергии крайне нежелательно.
2. Низкий энергетический КПД, как правило, не превышающий 45 %.
3. Исключительно низкая производительность в расчете на единицу объема реактора]. Чтобы удовлетворить мировую потребность в металле, требуются десятки тысяч электролизеров.
4. Многочисленность и относительно большие габариты аппаратов, которые порождают экологические проблемы и высокие трудозатраты.
5. Питание электролизера высококачественным дорогим сырьем (глинозем, углерод, электроны).

В результате алюминий имеет высокую себестоимость производства (1200ч1500 долларов США на начало 2008 года).

Необходимость кардинального совершенствования технологии осознается ведущими учеными, компаниями и государствами. Предлагается несколько альтернатив способу Эру-Холла. Среди них: карботермический способ получения, электролиз хлоридных расплавов (процесс Алкоа) и, наконец, совершенствование самого процесса Эру-Холла. Последний, как известно, заключается в электролитическом разложении глинозема, растворенного в криолитовом расплаве. Процесс идет при температуре около 950 °С. При этом на расходуемом угольном аноде выделяются СО и СО<sub>2</sub>, а на катоде – алюминий, так что суммарная реакция имеет вид:



Интерес к совершенствованию процесса Эру-Холла особенно возрос после осознания мировым сообществом возможностей, связанных с использованием инертных анодов (на которых выделяется кислород) и смачиваемых алюминием катодов. При использовании таких электродов в алюминиевом электролизере протекает реакция:



Использование инертных анодов и смачиваемых алюминием катодов дает возможность существенно уменьшить МПР в алюминиевых электролизерах и тем самым снизить расход электроэнергии. Отсутствие необходимости в частой замене анодов и регулировании МПР позволит конструировать закрытые электролизеры с улучшенными экологическими показателями. Идеальным вариантом явится создание многополярного электролизера с вертикальными электродами, в котором помимо вышеописанных преимуществ в десятки раз возрастет удельная производительность ванны.

Задание: Предложить альтернативные способы получения алюминия с учётом недостатков электролизного восстановления.

Источники:

1. Электролиз загущенных суспензий глинозема как способ совершенствования процесса Эру-Холла Часть I. Эволюция технологии электролитического способа получения алюминия П.В. Поляков, В.А. Блинов, А.Л. Войнич, Д.А. Симаков, А.О. Гусевб. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2 (2008 1) 135-154

## Задание 10.

### *Усиление конструкции свода архитектурных сооружений на примере Исаакиевского Собора в Санкт-Петербурге*

Изготовленный в 19 веке чугунный свод Собора из-за хрупкости, повышенных нагрузок (не рассчитанный на большой поток туристов) начал разрушаться.

Исаакиевский собор был освящен и открыт в 1858 году, но уже в 1870-е годы ему потребовалась реставрация. Большая масса этого здания,

разновременность постройки восточной (ринальдиевской) и западной частей храма, а также то, что портики воздвигались раньше стен, привели к неравномерной осадке и деформации отдельных частей сооружения.

Кроме того, начался естественный процесс выветривания мраморной облицовки. Все это потребовало проведения длительных и трудоемких ремонтных и реставрационных работ, которые начались, по существу, еще на завершающем этапе строительства собора в 1840-х годах. Тогда Монферрану пришлось дополнительно укреплять основания колонн портиков и частично заменить мраморную облицовку фасадов.

В дальнейшем подобные работы не прерывались, та или иная часть здания постоянно находилась в лесах.

Металлические леса под главным куполом Исаакиевского собора. 1947-1963 гг. В 1867 году обнаружили трещины в местах соединений медных листов кровли, в которые просачивалась влага, повреждая кладку стен. В течение двух лет ремонтировали кровлю, была выполнена реставрация медной обшивки стилобата главного купола, а также отремонтированы водосточные трубы.

В начале 1870-х годов выяснилось, что из-за неравномерной осадки портиков их перекрытия стали опираться только на один край колонны. Колонны, в свою очередь, отклонились у основания от вертикали, в них стали появляться трещины.

Под руководством академика Е.А.Сабанеева в 1873 году начинаются работы по выравниванию колонн портиков, определившие начало первой комплексной реставрации храма. Она продолжалась в течение 25 лет. Были устранены основные дефекты конструкции здания, мраморной облицовки и проведена реставрация живописи.

В конце 1870-х годов на крыше собора установили чугунные ходовые мостики, устроили желоба и перила вокруг фонарика. Позже вновь потребовала ремонта кровля собора.

Фрагмент росписи - Насыщение пятью хлебами пяти тысяч человек - до консервации. 1947 г. Фрагмент росписи - Насыщение пятью хлебами пяти тысяч человек - после консервации. 1950 г. Постепенно начал интенсивно разрушаться мрамор наружной облицовки. Из-за примеси сернистого колчедана он не противостоял атмосферным воздействиям. Вследствие перепадов температуры, снега, дождя, а также последствий неравномерной осадки выпадали куски облицовки, в мраморе появлялись трещины, сколы кромок, каверны, обрушивались части карнизов и модульоны.

Следующий этап работ в храме - конец 1920-х годов. После проведения нивелировки, показавшей, что западная часть здания осела на 47 см больше восточной, частично восстановили мраморную облицовку.

Зенитная батарея в Александровском саду. 1942 г. Тяжелым испытанием стала для собора Великая Отечественная война. Несмотря на принятые меры (позолоту куполов покрыли маскировочной краской), он сильно пострадал от бомбежек, артобстрелов, сырости и холода.

Уже в октябре 1941 года рядом с собором разорвался снаряд, осколки которого частично разрушили мраморную облицовку северной стены и повредили гранитные колонны портика на глубину 10 - 15 см. Взрывной волной были выбиты стекла. Год спустя другой снаряд пробил медную кровлю и разорвался на своде малого купола.

Еще больший ущерб был нанесен храму в результате нарушения температурно-влажностного режима. С начала войны здесь не работала отопительная система, снег и дождь проникали внутрь, через пробоины в кровле.

Послевоенная реставрация Исаакиевского собора началась в 1945 году с ремонта инженерных сетей, водопровода и канализации. Заново остеклили окна, отремонтировали кровлю и промыли от защитной краски позолоту куполов.

Уже в 1950-х годах обнаружили, что крепления и металлическая арматура креста главного купола сильно корродированны. В ходе реставрации их очистили, покрыли олифой и окрасили суриком, недостающие части изготовили заново. Крест был очищен от старой позолоты и грязи, отшлифован и покрыт лаком-марданом, после чего на его поверхность нанесли тонкий слой сусального листового золота. Эта работа осложнялась тем, что части креста приходилось разбирать на высоте около 100 м, спускать вниз, реставрировать, снова поднимать наверх и укреплять на свое место.

Главный купол в повторном золочении не нуждался, так как сделанная "через огонь" позолота оказалась достаточно прочной.

Очистка позолоты главного купола бригадой верхолазов. 1957 г. После этого реставраторы занялись укреплением штукатурного слоя картин. Для собора наиболее подходящим оказался способ с применением известки-кипелки.

Раствор молотой негашеной извести с песком и толченым кирпичом вводили под давлением в специально проделанные отверстия в штукатурке. В процессе гашения извести раствор твердел и надежно связывал штукатурку с кирпичной кладкой собора. Кроме того, их подсушивало выделявшееся в процессе гашения извести тепло.

Реставрация лепного орнамента карниза. 1950-е гг. Плафон находился в лучшем положении, чем многие росписи собора, потому что выполнен был по штукатурке, нанесенной на деревянную опалубку, а не на кирпичную кладку, и поэтому подвергся меньшему воздействию сырости. Утраты его красочного слоя составляли около 15 %. Поэтому, несмотря на гигантские размеры картины (816 кв.м) ее реставрацию провели всего за три месяца.

Не представила особой трудности реставрация мозаик в иконостасах. Цветное стекло смальта - долговечный материал. Мозаики очистили от копоти, промыли, обработали открытые швы воском, затем отполировали войлоком и фетром.



Хуже сохранились мозаики в парусах. Здесь смальта частично отошла от кирпичной кладки, и ее пришлось заново укреплять цементным раствором.

Особенно много хлопот доставила реставрация витража. Это уникальное произведение состоит из 21 рамы, в 13 из которых цветное стекло было выбито. Его заново изготавливали после нескольких экспериментов, проведенных Ленинградским технологическим институтом им. Ленсовета. Стекло оказалось не только многослойным, но и различной толщины, для каждой группы стекол требовалось подобрать различную температуру плавления.

Фрагмент росписи - Страшный суд - до реставрации. 1955 г. Восстанавливали витраж специалисты Экспериментальных мастерских и кафедры керамики и стекла ЛВХПУ им. В.И.Мухиной под руководством Е.В.Поповой.

Впоследствии выяснилось, что эти работы не отвечали требованиям научной реставрации и скорее носили характер консервации. В то время в Ленинграде просто не было опытных витражистов. При реставрации металлические рамы витража даже не демонтировались. Монтаж витражных стекол производился по вертикали. Нижняя часть картины по характеру росписи, некоторым провалам в тоновом решении отличалась от подлинной композиции. Грубо, штрихами кистью, были исполнены облака (акварельными красками на стекле).

При реставрации витража в 1998 году его полностью демонтировали. Все модули подгонялись по рисунку на стекле, что обеспечило точность композиции. Стекло применялось более толстое, клейка велась на медную фольгу, по примеру мировой практики реставрации старинных витражей.

Роспись - Страшный суд - до реставрации. 1955 г. Для прочности поверхность собранных модулей перед установкой в раму прошпаклевали специальной мастикой. В ходе этих работ уточнили рисунок облаков и плаща Христа, восстановили наружную раму с высокопрочным стеклом. Для ухода за уникальной картиной между рамами установили алюминиевые конструкции с переходными мостиками.

Немало усилий потребовало воссоздание поврежденных лепных орнаментов.

Утраченные фрагменты лепки заново отливали из алебаstra и с помощью специальных штырей устанавливали на место, полировали, покрывали лаком-марданом и заново золотили сусальным золотом.

Часть позолоты гальванопластической скульптуры интерьера сохранилась. Особенно прочной она была на деталях, вызолоченных "через огонь". Тем не менее позолота была загрязнена и потускнела. Ее промыли горячей водой с мылом, наиболее загрязненные части очищали составом из нашатырного спирта и аммиака. Так были промыты большие и малые царские врата, паникадила, капители и базы пилястр, скульптуры ангелов в барабане купола. Вновь вызолотили группы "Преображение" и "Вознесение".

Фрагмент росписи - Страшный суд - после реставрации. 1957 г. Позеленевшие в годы войны рельефы дверей собора покрыли искусственной патиной, предохранительным составом из воска, скипидара и красителей.

С 1956 по 1963 год восстанавливали внутреннюю мраморную облицовку стен, удаляли "переродившийся" слой мрамора и восполняли утраты вставками. Мрамор был в очень плохом состоянии, почернел и закоптился. От сырости и перепадов температур его поверхность утратила полировку, некоторые блоки выкрошились.

Мрамор обрабатывали карборундовыми наждачными кругами, снимая верхний слой на 1,5 - 2 мм. Трещины заделывались, первоначально - цементом с мраморной крошкой, эпоксидной смолой. Мрамор промывали и полировали. Всего обработано было 11600 кв. м камня, сделано более 10 000 вставок.

Мраморная облицовка до реставрации. Начало 1950-х гг. Во время послевоенной реставрации реконструировано освещение Исаакиевского собора. Раньше скульптуру и живопись в верхней части храма скрывал полумрак. В 1957 году на галереях, карнизе главного алтаря, вокруг плафона главного купола были установлены люминесцентные лампы, по углам здания - мощные софиты, и детали убранства стали доступны для обозрения.

Новая система отопления собора позволила поднять среднюю температуру воздуха до 17 - 20 градусов Цельсия вместо прежней 7 градусов Цельсия и снизить влажность до 50 - 60 %, что стало важнейшим условием сохранения мрамора, живописи, лепки и позолоты.

Первый этап комплексной реставрации был завершен в 1963 году. Во время этих работ было сделано геодезическое обследование состояния Исаакиевского собора. Его результаты показали, что обнаруженная в 1929 году неравномерная осадка собора прекратилась.

Мраморная облицовка стен после реставрации. 1963 г. В конце 1960-х годов обследовали наружную мраморную облицовку и установили, что она нуждается в реставрации. Проводились работы в северо-западной части фасада и колокольни, состояние которых вызывало наибольшие опасения, был заменен ряд мраморных модульонов медными копиями, окрашенными под мрамор.

Общее состояние Исаакиевского собора проверялось в 1987 году. Была зафиксирована равномерная осадка здания на величину до 5 мм.

В настоящее время продолжается комплексная реставрация Исаакиевского собора.

Задание: Предложить способы ремонта свода и остановки разрушения и оседания.

<http://www.astrobroker.ru/index.htm>

## Задание 11

*Получение наноструктурированных материалов на основе металлических сплавов*

Получение материалов с упорядоченными наноразмерными структурными элементами возможно следующими способами: измельчение металлических порошков до наноразмерного уровня с дальнейшей их консолидацией, аномально быстрая кристаллизация с последующим высокотемпературным отжигом, интенсивная пластическая деформация с последующим нагревом. Каждое из направлений имеет ограничения по классам материалов, предельным размерам структурных элементов.

Цель процесса консолидации нанопорошков заключается в достижении полной плотности материала при минимальном росте зерна.

Кроме того, образец должен быть достаточно большого размера для измерения свойств и изготовления полезного изделия. Среди основных проблем при консолидации нанопорошков можно выделить агломерацию нанопорошков, их высокую активность (пирофорность металлических порошков), наличие примесей, рост зерен, трудности при изготовлении длинномерных заготовок. Для прессования нанопорошков при комнатной температуре в основном используют: одноосное статическое прессование, прессование *in-situ* в камере синтеза порошка, динамическое магнитно-импульсное прессование, всестороннее (изостатическое) прессование, ультразвуковое компактирование, интенсивная пластическая деформация, прокатка лент. Разработаны также и другие методы уплотнения нанопорошков: центрифугирование, осмотическая консолидация, фильтрация под давлением, литье или прокатка лент и пленок, электрофорез.

Результаты экспериментальных исследований показали, что нанопорошки уплотняются значительно труднее, чем порошки с размером частиц около микрона и более. Особенно резко давление прессования возрастает при размерах частиц менее 100 нм. На диаграммах холодного прессования нанопорошков можно выделить стадии интенсивного и слабого уплотнения. На первой стадии происходит проскальзывание и перегруппировка частиц, а на второй - упругое сжатие частиц в местах контакта, пластическая деформация пластичных и разрушение хрупких частиц.

Трение между частицами, а также трение частиц с матрицей, оказывают значительное влияние на уплотнение нанопорошков при холодном прессовании. Вследствие значительного трения, скольжение и перегруппировка наночастиц затруднены, поэтому нанопорошки более склонны к образованию дефектов при прессовании, чем обычные порошки. Кроме того, наночастицы не содержат дислокаций, что затрудняет их пластическую деформацию, поэтому уменьшение размера частиц приводит к снижению плотности компактов при одинаковом давлении прессования.

Вклад пластической деформации в уплотнение нанопорошков незначителен. Спекание под давлением позволяет получить беспористый материал при меньших температурах нежели, чем спекание без давления. Спекание нанопорошков под давлением приводит к интенсивному уплотнению при меньшем росте зерен, по сравнению со спеканием без давления.

Повышение давления при горячем прессовании приводит к снижению температуры процесса и тем самым позволяет затормозить процесс рекристаллизации, что способствует сохранению наноструктуры. Поэтому спекание под давлением прессовок из нанопорошков дает возможность не только уплотнять прессовки до практически беспористого состояния, но и сохранить наноструктуру материалов.

К настоящему времени разработано несколько технологий спекания нанопорошков под давлением, позволяющие получать объемные наноматериалы: осадка - спекание под давлением; метод газовой экструзии, позволяющий получать длинномерные заготовки; горячее изостатическое прессование.

Задание: Предложить наиболее экономичный способ производства деформирующего инструмента с наноструктурой.

Источники:

1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ  
М.И.Алымов Композиты и наноструктуры COMPOSITES and NANOSTRUCTURES № 2 2010

## Задание 12

### *Отливка металлоизделий с наследованием ячеисто-каркасных конструкций природы*

Материалосбережение в конкурентной экономике приобретает особую важность. В этой связи актуально проектирование ячеисто-каркасных металлических материалов и деталей, которые на 50...90% легче монолитных изделий. Среди характерных закономерностей строения этих изделий наблюдается повторяемость их составных элементов, способа их разветвления или одинаковость ячеек, что математики называют фрактальностью конструкции. Ячейка как правило имеет свои стабильные механические, гидродинамические (с точки зрения проницаемости) и др. характеристики, определив которые, можно экстраполировать их на всю структуру, собранную по определенному алгоритму из множества подобных ячеек, и таким образом проектировать ячеисто-каркасные материалы или детали машин из них (рис.3).

Проектирование литой металлоконструкции для получения ее из металлического расплава в литейной форме для большинства видов литейных форм, назовем их традиционными, предполагает размещение отливки в плоскости (очень редко, поверхности) разъема этой формы.

Наличие разъема формы в технологии литья металлов создало стойкий стереотип, формирующий представление о том, как должна выглядеть металлическая отливка. Эта тема, находящаяся на стыке сфер деятельности конструктора-механика и литейщика-технолога, в традиционной ее трактовке постоянно присутствует практически на всех вузовских курсах,

затрагивающих технологию литейной формы, а также в технологических отделах заводов и КБ, где проектируют литые металлические детали.



Рис.3 – Пример ячеисто-каркасной конструкции

В результате в общем случае руководствуются сложившемся мнением, что отливка – это то, что войдет в разъем формы, часто с песчаными стержнями, которые в свою очередь предполагают разъем стержневого ящика.

Задание: предложить метод литья, позволяющий устранить недостатки традиционных технологий.

### 3. Проведение занятий по темам исследований магистерских работ

В отличие от представителей других стран, инженеры – выпускники российских (и ранее советских вузов) сложно адаптируются за рубежом и реализуются в своей профессии, т.к. не обладают навыками коммерческой деятельности. В современном мире, в условиях рыночной экономики, возникает необходимость не только уметь выполнять инженерные задачи, но и грамотно предлагать свои знания и умения представителям крупного бизнеса, а также госкорпорациям. В связи с этим, цель данного раздела помочь будущим инженерам-исследователям научиться коммерциализации собственных проектов.

Обретение подобных навыков предлагается реализовать также через деловую игру, только с упором на конкретную тему исследования.

Игра состоит в следующем. Один из студентов предлагает свой проект на рассмотрение учебной группы. В своём докладе он, прежде всего, должен сделать упор на коммерческую привлекательность своих исследований. Другими словами, строя своё сообщение из ответов на вопросы «**Зачем** проводится исследование?», «**Как** достигается поставленная цель?» и «**Что** в результате получается?» необходимо больше внимания уделять первой части (при защитах проектов перед государственной аттестационной комиссией обычно большее внимание уделяется последнему вопросу). При этом сам докладчик пишет на листке бумаги сумму (в любых денежных единицах), которая, на его взгляд требуется для реализации проекта. Это число должно быть вполне реальным (например, требуется закупка или аренда оборудования, зарплата сотрудникам за определённый срок, в течение которого проект может быть реализован, накладные расходы, командировки и т.п.) и не должно быть известно остальным.

После доклада каждый из студентов-слушателей («эксперты», «бизнесмены», «представители фондов») задают свои вопросы докладчику. Затем следует обсуждение, где каждый может высказать своё мнение о проекте, методах его реализации, возможных недостатках и ошибках, предложит свои варианты решения проблемы.

Затем следует голосование, которое состоит том, что слушатели пишут на небольших листочках сумму, которую они считают возможным «ассигновать» автору (коллективу авторов). Эта информация поступает к преподавателю (или можно назначить ответственного секретаря), который подсчитывает результаты. После этого обнародуется информация о заявленной заранее автором сумме и собранными ассигнованиями. Делаются выводы о коммерческой успешности проекта.

При этом автор с помощью преподавателя и своих коллег может сделать выводы о своих расчётах и недоработках.