

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ПОСОБИЕ

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности**

**1-36 02 01 «Машины и технология литейного
производства» дневной формы обучения**

Гомель 2018

УДК 621.745.3(075.8)
ББК 34.61-1я73
О-75

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 22.09.2017 г.)*

Рецензент: декан заочного факультета ГГТУ им. П.О. Сухого канд. физ.-мат. наук,
доц. *Д. Г. Кроль*

О-75 **Основы** инновационного проектирования технологических процессов : пособие по одной дисциплине для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» днев. формы обучения / сост. В. А. Жаранов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 184 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Дано представление о профессии инженера, об основах современного производства литых заготовок, истории литья, проблемах и перспективах отрасли и в том числе в Беларуси. Особое внимание уделено современным технологиям, уже применяемым в литейном производстве или перспективным в будущем. Пособие может быть использовано при изучении элементов специальных дисциплин с, связанных с аддитивными производственными технологиями.

Для студентов специальности 1-36 03 01 «Машины и технология литейного производства» дневной формы обучения.

УДК 621.745.3(075.8)
ББК 34.61-1я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ	8
Инженер. особенности профессии	13
История развития литейного производства.....	27
История литья в Беларуси.....	44
1 ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК	50
1.1 Литейные сплавы	50
1.2 Машинная формовка.....	55
1.3 Вакуумная формовка.....	56
1.4 Специальные способы литья.	57
1.5 Изготовление отливок электрошлаковым литьем.....	62
1.6 Дефекты отливок и их исправление.....	66
2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИННОВАЦИЙ	81
3 ПОНЯТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА, ЕГО ВИДЫ И СТАДИИ. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА.....	87
4 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИННОВАЦИИ	92
5 САПР В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	96
5.1 Классификация современных САПР	96
5.2 Основные этапы сквозного проектирования	98
6 ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ	103
6.1 Технологии быстрого прототипирования. Обзор	104
6.2 Краткая историческая справка	104
6.3 Анализ аддитивных технологий.....	108
6.4 Технология послойного лазерного сплавления.....	111
6.5 Технология послойного электронно-лучевого синтеза и напыления	114
6.6 Технология послойного синтеза изделий ионным пучком	116
7 ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛИТЬЕ МЕТАЛЛОВ.....	118

7.1 Аддитивные технологии и быстрое прототипирование.....	120
7.2 Аддитивные технологии и литейное производство.....	122
7.2.1. Изготовление литейных синтез-моделей	122
7.3 От синтез-мастер-модели к отливке	136
7.4 Технологии синтеза песчаных литейных форм	142
7.5 Технологии синтеза металлических изделий и форм для литья металлов и пластмасс	146
7.6 Аддитивные технологии, литейное производство и порошковая металлургия	148
8 КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	182
ЛИТЕРАТУРА.....	183

ВВЕДЕНИЕ

Общеобразовательные и общетехнические предметы, которые изучаются в школе и на начальных курсах в высшем учебном заведении (ВУЗе) дают недостаточно сведений об инженерной деятельности, конкретных специальностях и специфике работы. Студент не всегда представляет, как и при каких обстоятельствах, ему придется применять знания, полученные в ВУЗе, какие личные качества будут необходимы при последующей работе. Поэтому студенту-первокурснику необходимо познакомиться с профессией инженера, характером инженерной деятельности, ее творческими возможностями, задачами инженерии, условиями их успешного решения, а также основами инновационного проектирования технологических процессов.

Развитие литейного производства требует подготовки высококвалифицированных специалистов. Поэтому настоящий курс ставит целью познакомить студента со спецификой инженерной подготовки и последующей инженерной деятельности по выбранной специальности, знакомит студентов с историей развития литейного производства от древнего до настоящего времени, материалами и технологиями литейного производства, основными направлениями развития.

В настоящее время производственные мощности более чем 70 литейных участков, цехов и заводов Беларуси выпускают более 950 тыс. т отливок в год, в том числе чугуновых – 700 тыс. т (75 %), стальных – 180 тыс. т (19 %), отливок из цветных сплавов – 70 тыс. т (6 %). По объему производства отливок на одного жителя республика находится на одном из первых мест в мире.

Город Гомель – административный центр области – один из старейших городов Республики Беларусь, основанный согласно Ипатьевской летописи в 1142 г. В городе работает свыше ста предприятий машиностроения, легкой, пищевой, химической и других отраслей промышленности. Хорошо развиты деревообрабатывающее и мебельное производство, стройиндустрия. В Гомеле осуществляет свою деятельность филиал национальной академии наук Беларуси, работают 4 академических и 7 отраслевых НИИ.

Большое внимание уделяется подготовке специалистов различных отраслей науки, культуры, производства. В семи высших учебных заведениях (в том числе 5 университетах) обучаются около 35 тысяч студентов, ежегодно 2.5 тыс. из числа которых получают дипломы молодых специалистов.

Особую роль в подготовке инженерных кадров в регионе, да и во

всей Республике играет Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого.

Первые 200 студентов вечерней формы обучения приступили к занятиям на Гомельском общетехническом факультете Белорусского политехнического института 1 октября 1968 года. Подготовка велась по трем специальностям: технология машиностроения, металлорежущие станки и технология литейного производства.

Шли годы, и на базе общетехнического факультета в январе 1973 года был открыт Гомельский филиал БПИ. В этом же году, то есть 35 лет назад, состоялся первый выпуск студентов вечернего отделения филиала.

В 1981 году в связи с возрастающей ролью Гомельского филиала БПИ для активно развивающейся промышленности региона он был преобразован в Гомельский политехнический институт (ГПИ). В институте было создано пять факультетов: машиностроительный, энергетический, механико – технологический, автоматизации и управления, вечерний факультет.

В 1986 году институт возглавил доктор технических наук Альберт Семенович Шагинян. Будучи ректором ГПИ А.С. Шагинян разработал программу развития, направленную на повышение качества и уровня обучения, эффективности НИР, создание благоприятных условий для самореализации в учебной и научной деятельности, объединение усилий коллектива для решения актуальных задач и удовлетворения запросов производства с учетом современных требований социально-экономического развития нашей республики. За время его работы в университете построены: учебный корпус № 1, лабораторный корпус тяжелого оборудования (ЛКТО), общежитие № 2, общежитие № 3, жилой дом для профессорско-преподавательского состава; начато строительство санатория – профилактория для студентов, переоборудован в учебный корпус № 3, переданный вузу производственный корпус одного из Гомельских предприятий.

В 1995 году Постановлением Кабинета Министров Республики Беларусь институту присвоено имя Павла Осиповича Сухого, выдающегося авиаконструктора с согласия ОКБ Сухого и его семьи.

В 1997 году в ВУЗе был создан факультет повышения квалификации и переподготовки кадров, который проводит учебную и научно-методическую работу по повышению квалификации и переподготовке кадров руководящих работников, специалистов, а также студентов старших курсов высших учебных заведений. В начале 90-х ГПИ становится престижным, быстро растущим вузом Гомельского региона. С 1 июля 1998 года Гомельский политехнический институт имени П.О. Сухого был преобразован в Гомельский государственный

технический университет имени П.О. Сухого.

В декабре 2001 года при университете создан региональный центр тестирования и профессиональной ориентации учащейся молодежи, который активно работает с областным управлением образования. В 2003 году вступил в строй один из лучших в Беларуси санаторий-профилакторий для студентов.

С 2007 года университетом руководит доктор физико-математических наук, профессор Сергей Иванович Тимошин. Сегодня УО ГГТУ имени П.О. Сухого является крупнейшим региональным вузом, призванным обеспечивать многопрофильную подготовку и переподготовку инженерных кадров и специалистов высшей квалификации для Гомельской области и регионов Беларуси. В университете работают и получают образовательные услуги ~ 7500 человек, функционирует 8 факультетов: машиностроительный, энергетический, механико-технологический, гуманитарно-экономический, факультет автоматизированных и информационных систем, факультет заочной формы обучения, факультет довузовской подготовки, факультет повышения квалификации и переподготовке кадров.

История развития цивилизации в контексте истории производительных сил

Становление и развитие инженерного дела необходимо рассматривать в связи с развитием техники – его материальной базы.

Одна из предложенных периодизаций, отражающая крупные периоды в развитии технических знаний, включает следующие периоды.

Первый период – донаучный. Он охватывает промежуток времени от первобытнообщинного строя до эпохи возрождения (XV век). Для этого периода характерно использование примитивных (ручных) способов производства, неизменных в течение длительного времени и передаваемых путем ученичества. Технические знания существовали как качественное описание орудий труда и способов их применения в трудовой деятельности. Естественные и научные знания в этот период развивались параллельно без наличия между ними связи. Этот период называют периодом орудийной техники (периодом создания орудий труда).

На начальном этапе орудия труда находили в природе или изготавливали посредством простейших трудовых операций. Первые орудия труда из дерева и камня появились в период перехода от охоты к скотоводству, земледелию и ремеслу (примерно XXX век до н. э.). Ранее человек изобрел многочисленные орудия охоты, в т. числе – охотничьи автоматы: ловушки, западни и т. п. причем эти автоматы применяются до настоящего времени – десятки тысяч лет (!). Процесс изготовления орудий труда был примитивным. Трудовые навыки и технические знания передавались из поколения в поколение. Письменная передача знаний отсутствовала.

На этапе рабовладельческого строя зарождались и естественные науки (астрономия, математика, физика, химия, механика и др.). Из них наиболее связанной с техникой была механика. Однако естественные науки не получили широкого технического применения. Поразительный пример отсутствия взаимосвязи или взаимодоверия между научной и практической деятельностью – закон плавучести тел, открытый Архимедом (287–212 гг. до н. э.): – тело, погруженное в жидкость, теряет вес, равный весу вытесненного объема этой жидкости^{||} (формулировки могут быть различными). Сам Архимед был в восторге, когда установил этот закон, воскликнув:

– Эврика!. Несмотря на то, что этот закон ни у кого не вызывал сомнений, его практическая реализация при строительстве кораблей затянулась почти на 2 тысячи лет. Только в 1600 г. в Англии было построено и спущено на воду судно, с рассчитанной заранее плавучестью

по закону Архимеда и, следовательно, полностью законченное. Ранее спускали судно на воду, определяли его осадку (ватерлинии), а потом прорезали иллюминаторы, отверстия в бортах для пушек и т. п. (если судно не утонуло или не перевернулось). Архимед может по праву считаться основателем механики. Он открыл законы равновесия, гидростатики, законы рычага, их применение к системе блоков и зубчатых колес, изобрел винт – водоподъемное устройство, построил – 8-е чудо света – редуктор с 56 ступенями и с 8 выходными валами под разными углами, который служил приводом планетария, счетчик расстояния измеритель длины пути, параболические зеркала и многое другое. Но сам он считал себя только философом и математиком.

При феодальном строе развитие технической деятельности проходило в рамках ремесел. Появление водных и ветряных мельниц обеспечило передачу технике энергетических функций, что изменило практику ремесленного производства. Второй период развития технических знаний – период зарождения технических наук (от второй половины XV до 70-х годов XIX веков). Его характерная особенность – привлечение для решения практических задач научных знаний. Это этап возникновения машинной техники, что обусловлено зарождением капитализма, который подчинил в социальном плане человека технике. Промышленная революция установила машинно – фабричное производство. Осуществилась передача технике производственных функций, которые ранее исполнялись исключительно человеком.

Этот период можно подразделить на два этапа. Первый – от второй половины XV века до начала XVIII века характерен становлением экспериментального метода на основе взаимосвязи науки и практики. Второй этап – от начала XVIII века до 70-х годов XIX века характерен появлением новых научных теорий в механике, что создало необходимые условия для развития научной технической теории.

Выдающаяся роль здесь принадлежит Галилео Галилею (1561–1642 гг.). Об интересах ученого к технике свидетельствует его труд «Трактат о науке механике». Механику он понимал, как «прежде всего, если не всецело, науку о машинах и практическом использовании их». Галилею принадлежит открытие законов падения тел, равновесия жидкости в сообщающихся сосудах, фундаментальное открытие в механике: сила есть произведение массы на ускорение ($F=ma$).

До Галилея все были уверены, что сила есть произведение массы на скорость ($F=mV$). Это казалось вполне очевидным, но при расчетах движения по этой формуле возникали большие несоответствия практике. Например, артиллеристы никак не могли попасть в цель, считая траекторию полета снаряда. Позже формула $F=ma$ вошла в законы

механики Ньютона.

О том, какие принципиальные изменения произошли в период возрождения, можно судить, сравнивая деятельность Г. Галилея (XVII век) и его знаменитого земляка Леонардо да Винчи (XVI век) – выдающегося и всесторонне одаренного человека: гениальный художник и скульптор, он сам себя называл инженером и с увлечением конструировал и строил мосты, машины, орудия, фортификационные сооружения и фантастические по тем временам сооружения типа дельтапланов или вертолетов. Конечно, они не летали – не хватало знаний, но и сам подход к их разработке был чисто интуитивный или эмпирический. Никаких попыток выявить закономерности Леонардо да Винчи не делал: наука была нужна только для философов.

В результате синтеза естественных и технических наук возникает научно – техническое знание. Если в XVII–XVIII вв. влияние науки на технические знания было весьма скромным, то в XIX веке ее роль на развитие техники возрастает и с течением времени усиливается, способствуя активизации инженерной деятельности.

Таким образом, для второго периода характерно зарождение технических наук как системы научных знаний. Третий период в развитии технических наук

– «классический» период. Он охватывает 70-е годы XIX века до середины XX века. Между техническими и естественными науками существует прямая взаимосвязь: открытия в естественных науках – физике, химии, математике дают «материал» для построения технических объектов, с которыми работает инженер, технических теорий и средств. Возникают новые отрасли науки и техники, например, теплотехника, кибернетика, информатика, электроника и др. соответственно, возникают и новые задачи, которые приходится решать науке. Интенсивное развитие технических наук исторически связано с переходом к машинному производству, становление которого проходило в период XVIII–XIX вв. При наличии достаточно развитых средств производства и технических знаний. Важным моментом технического прогресса было изобретение парового двигателя. Это изобретение ознаменовало второй этап промышленно революции (первый этап промышленной революции был в основном связан с механизацией текстильного производства). Использование парового двигателя в качестве источника энергии способствовало интенсивному развитию и преобразованию других отраслей производства – горное дело, металлургия, машиностроение, появлению новых отраслей промышленности и расширению объемов производства. Предприятия и города вокруг них перестали зависеть от наличия рек, так как ранее

только текущая вода являлась единственным источником энергии – водяное колесо, известное со времен древнего Вавилона.

Примером усиления взаимосвязи науки и техники могут служить научные знания об электричестве и магнетизме, обеспечившие создание электрических машин, вначале только постоянного тока, и созданию основ электротехники. Получают развитие и технические науки механического профиля (гидравлика, баллистика и др.).

Наука интернациональна. Однако каждый ученый имеет свою Родину, поэтому, говоря о развитии науки и техники в этот период, следует назвать имена и наших соотечественников, которые не всегда, к сожалению, упоминаются в учебниках физики, химии или истории.

Казимир Семянович (XVII в.) – автор ряда разработок и изобретений в области артиллерии и ракетной техники, автор книги «Великое искусство артиллерии», Амстердам, 1650 г.

Целая плеяда ученых – выходцев из Беларуси появилась в XIX–XX вв.

Ястребский Николай – автор первого в России курса практической механики, один из первых историков науки и техники, лауреат Демидовской премии.

Урублевский Жигимонт – профессор Ягеллонского университета, физик, первооткрыватель в области низких температур, занимался вопросами электропроводности металлов при низких температурах, первым получил сжиженный кислород.

Игнат Дамейка – исследователь-геолог, металлург, основатель и первый ректор Чилийского университета, национальный герой Чили, его именем названы город, порт в Чили, горный хребет в Кордильерах, вершина в Андах, минерал и др.

Томаш Зан – исследователь недр Южного Урала, основатель минералогического музея в Оренбурге.

И.М. Ковалевский – профессор, ректор Казанского университета, лауреат Демидовской премии.

В.И. Дыбовский – доктор минералогии, исследователь Сибири.

И.Д. Черский – геолог, географ, исследователь Сибири, награжден 3 золотыми медалями Русского географического общества, его именем названа система горных хребтов в Северо-Восточной Сибири и Забайкалье и др.

Софья Ковалевская (ур. Корвин-Круковская – математик, член – корреспондент Петербургской академии, профессор Стокгольмского университета.

М.О. Доливо-Добровольский – инженер-изобретатель в области электротехники. Создал основные части системы трехфазного тока:

генератор с вращающимся магнитным полем, асинхронный электродвигатель, трансформатор, сконструировал фазометр, делитель напряжения, пусковые реостаты и др.

Михаил Курака – металлург, основатель российской школы доменщиков, изобретатель.

Павел Кабека – физик, крупный специалист в области физики твердого тела, создатель теоретической базы производства пластмасс.

Александр Чижевский – основатель гелиобиологии и аэроионификации (эффект Чижевского-Вельхова).

Лев Арцимович – выдающийся физик-атомщик; академик, впервые осуществил управляемую термоядерную реакцию, (выпускник БГУ).

Илья Пригожин – физик, химик, лауреат Нобелевской премии по химии (1977), президент Бельгийской академии наук, создатель теории термодинамики необратимых процессов.

Б.В. Кит – математик, физик, разработчик и конструктор первых космических систем, изобретатель топлива для космических кораблей, советник правительства США по астронавтике, почетный профессор Гродненского университета им. Янки Купалы, почетный гражданин г. Новогрудка.

Я.Б. Зельдович – выдающийся физик-теоретик, академик, один из создателей теории горения, детонации и ударных волн, трижды Герой социалистического труда, лауреат четырех Государственных и Ленинской премии.

С.А. Косберг – советский конструктор авиационных и ракетных двигателей, автор первого кислородно-газового жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), запускаемый в условиях невесомости, серийных ЖРД последних ступеней ракет-носителей космических аппаратов, изобретатель топлива для космических кораблей.

П.О. Сухой (1895–1975) – выдающийся авиаконструктор XX века, чье имя носит Гомельский государственный технический университет (с 1995 г.).

В настоящее время приведенная периодизация развития технических наук может быть дополнена четвертым периодом (середина XX–XXI вв.), который характеризуется развитием атомной энергетики, кибернетики, компьютерной техники, высокоэффективных и нанотехнологий. Этот период может быть назван периодом автоматизированного труда и информационных технологий. Новая инженерия и техника предполагает новую картину мира, умение работать с разными объектами с учетом современного понимания культуры, истории и будущего. Интенсивное развитие инженерной деятельности объясняется ее эффективностью, почти безграничными возможностями в

освоении природы, ростом производительных сил.

Инженер. особенности профессии

С учетом проведенной периодизации развития технических знаний можно проследить становление и развитие инженерного дела. Истоки инженерного дела также лежат в недрах ремесленного производства. Еще в древние времена были мастера, создававшие разнообразные орудия производства, оружие, строительные конструкции и др. Дела таких мастеров особенно ярко проявились во времена Египта, Греции и Рима, древнего Китая и др. Они знали, как и что делать, но не имели представления о теории того или иного процесса. В таком виде инженерное дело существовало много столетий, накапливая практические знания. Со временем изготовление новых орудий труда уже не могло основываться на традициях, смекалке и мастерстве ремесленников. Возникла необходимость обобщения накопившихся знаний для создания на их основе новых технических решений.

В античные времена было сделано немало выдающихся открытий, построено удивительных сооружений, получено новых материалов. До наших дней дошли имена гениальных ученых, которые, не имея, практически, никакой экспериментальной базы, силой разума и творческого воображения сумели открыть многие законы естествознания, объяснить явления природы (природу вещей) и заложить прочный фундамент будущей науки. Было среди них и немало инженеров в современном понимании этого слова, хотя они себя таковыми не считали. Тогда бытовало убеждение, что практика и наука несовместимы. Наука – это нечто высокое, божественное, а практика – низкое ремесленное занятие. Хотя удержаться от решения практических задач было невозможно. Выдающимся примером такой деятельности был Пифагор и особенно Архимед – пожалуй, самый выдающийся инженер античного мира.

Уровень инженерного дела существенно возрос в эпоху Возрождения. Мануфактурная промышленность в это время обслуживалась в основном практиками – рабочими и мастерами. В то же время в новых отраслях производства (военное дело, строительное дело, горное дело) появляются энциклопедисты-изобретатели (типа Леонардо да Винчи), мастера, отстаивающие свою независимость от норм и запретов ремесленной организации труда (такие люди были предшественниками современных инженеров). В XVI–XVII веках идеи инженерии и развитие техники на основе этих идей воплощались лишь в отдельных практических образцах. Даже в XVIII в. инженерное дело основывалось, главным образом, на эмпирических знаниях, и очень мало

– на научных.

История создания паровой машины иллюстрирует положение инженерного дела в те времена (XVIII в.). Первая машина была запатентована Джеймсом Уаттом в 1769 г. Однако, машина Джеймса Уатта по существу была усовершенствованным вариантом машины, созданной в 1700 г. Томасом Севери. Томас Ньюкомен (1663–1729) еще до Уатта увеличил мощность машины Севери, что способствовало расширению области ее применения. Совершенствование машины Уатта продолжилось и после ее создания, однако, сведения о научных основах этого изобретения отсутствовали.

До начала XIX века мир науки мало влиял на инженерное дело. По мере накопления научных знаний их влияние на инженерное дело усилилось и коренным образом изменило его. Благодаря этим изменениям осуществился переход от технической деятельности к инженерной, которой могли заниматься люди с научно-методической подготовкой и специальными навыками. Растущий поток новых специальных знаний породил новые направления в инженерной деятельности. Поэтому в XIX веке было создано множество специализированных обществ (химические, астрономические и др.) в разных странах. Началось объединение инженеров, занимавшихся созданием социальных институтов разных специализация. Возникает новый тип специалиста-инженера, объединившего технический опыт искусных мастеров – ремесленников и научные знания. Так, в XIX веке образовалась профессия инженера – механика с разными объектами их деятельности. Инженеры XIX века понимали значение научных знаний и использовали их в производственной практике. Благодаря их усилиям классическое инженерное дело превратилось в инженерную деятельность. Благодаря этому инженерная деятельность (инженерия) оформилась в самостоятельное направление. Интенсивное развитие инженерной деятельности объясняется ее эффективностью.

Инженер – специалист, занимающийся разработкой, производством и эксплуатацией технических систем и устройств, иначе говоря, инженер – создатель всех тех материальных благ, которые нас окружают и обеспечивают наше существование.

Зарождение инженерной деятельности связано с необходимостью решения стремительно возрастающих и усложняющихся практических производственных задач, реализации результатов теоретических и экспериментальных исследований в области технических и естественных наук.

Особое место в этом процессе занимает наука управления производством. Специфика этого процесса заключается в том, что

инженерное управление сочетает в себе социальное и технологическое управление трудом и производством.

Единство естественнонаучного и гуманитарного направления инженерной деятельности проявляется в экологически чистых разработках, в основе которых лежит принцип гармонического единства природных, социальных и инженерных составляющих инженерной деятельности.

Говоря об инженерной деятельности, следует отметить ее творческий характер. Техническое творчество долгое время было «любительским» делом и существовало обособленно от производства, в то время как техническое творчество является составной частью производства. В настоящее время требуется активизация творческого мышления, творческой деятельности инженера для создания принципиально новых технических решений, соответствующих современному уровню прогресса во всех областях знаний.

Основные этапы работы инженера: постановка и поиск решения задачи; нахождение оптимального решения задачи; проектирование, изготовление, эксплуатация, анализ и постановка новой задачи.

Инженерная задача – задача перехода от одного состояния к другому, к лучшему. В большинстве случаев такие задачи могут иметь множество решений, из которого необходимо выбрать только одно. На первом этапе о решении задачи говорят в общих чертах. Например, необходимо повысить прочность сплава. Решений этой задачи может быть множество. Инженер оценивает разные решения, полагаясь на свои знания, опыт, интуицию. Главное, что характеризует инженерную деятельность на данном этапе – творческий подход к решению задачи. Принимая решение, инженер учитывает технологический и экономический, и экологический факторы и выбирает оптимальный вариант.

Важный этап – создание проекта. Проектирование существенно отличается от исследования. Знания, используемые на этом этапе, отличаются их ориентацией на конкретные инженерные задачи. Однако проектирование (конструирование, разработка технологии и др.) содержит и исследовательскую компоненту, которая проявляется чаще всего в проверке правильности решения. Соотношение между исследованием и проектированием в инженерной деятельности аналогично соотношению между научным знанием и практикой: с одной стороны, практика – фундамент научного знания, с другой – область применения научного знания и проверка его истинности.

Специфика инженерного труда такова, что он связан не только со сферой материального производства, но и социальной сферой,

окружающей средой и др. Деятельность инженера конкретизируется в его поступках и поведении, которые проявляются в условиях деятельности трудового коллектива. Инженер

– командир и организатор производства. В его поведении проявляются социально-личностные качества человека, воспитание, культура, характер, взгляды и отношение к окружающим.

Глубокое понимание законов природы привело к значительным переменам в современной инженерной деятельности, многоплановость которой заставляет искать новые решения инженерных задач. В настоящее время техническая мысль идет в направлении создания малоотходных производств, новых материалов и технологий (чистые источники энергии, изделия, материалы, нанотехнологии и т. д.), более широкое развитие и применение информационных, интенсификация процессов, использование новых и комбинированных источников энергии, замкнутых циклов производства и т. п.

Отрицательные последствия развития индустрии вносят свой вклад в три основных вида кризиса: разрушение и изменение природы (экологический кризис), изменение и разрушение человека (антропологический кризис), изменение социальных инфраструктур (кризис развития).

Во избежание этого техническая и инженерная деятельность в настоящее время учитывает экологические проблемы настоящего и будущего.

Развитие производительных сил потребовало подготовки специалистов технического профиля. Возникшие в XVI–XVII веках учебные заведения не могли обеспечить подготовку кадров инженерного уровня.

Важным звеном в деле научно ориентированного инженерного образования стала Парижская политехническая школа (1794 год). В обучении преобладала наиболее развитая в то время область техники – механика. Преподавателями этой школы были: Лагранж, Лаплас, Карно, Пуассон и др. Согласно сведениям, имеющимся в литературе по развитию техники, политехническая школа давала общее физико-математическое и техническое образование. Специализацию выпускники этой школы приобретали в других учебных центрах.

Деятельность парижской школы послужила примером для организации технического образования в других странах. По образцу этой школы впоследствии были созданы школы в Германии, Швеции, Испании, США.

Подготовка первых специалистов для промышленности и строительства в России началась в XVIII веке. В Москве и Петербурге

Петром I были созданы Математико-навигационная школа, Морская академия, артиллерийские, инженерные и другие профессиональные училища. Образование в этих школах первоначально было элементарным, но сыграло важную роль в развитии инженерного дела.

В России в 1809 году был создан Институт инженеров путей сообщения, оказавший большое влияние на развитие русской инженерной школы. В 20–30-х годах XIX века – это учебное заведение стало центром научной мысли в области строительства.

Важным этапом дальнейшего развития инженерного образования стало создание школ, готовящих инженеров – специалистов в определенной отрасли на базе широкой научной и технической подготовки, так как каждый инженер не мог обеспечить обслуживание производств любой отрасли.

В России многие ремесленные и технические училища были преобразованы в Высшие технические школы. Так, в 1862 году был создан Петербургский технологический институт, в 1868 году – Московское высшее техническое училище, в 1891 – Электрический институт и др.

В годы советской власти количество высших учебных заведений технического профиля резко увеличилось в связи с возросшими запросами промышленных предприятий.

Становление высшего образования в Беларуси имеет свою историю. До XVI века своих высших учебных заведений здесь не было. Для получения высшего образования необходимо было ехать в Италию, Германию, Польшу и другие страны. Большое число белорусов училось в Кенигсбергском университете, так как в этом университете приказом прусского герцога Альбрехта было введено восемь стипендий для студентов Великого княжества Литовского (1545 год).

В 1569 году в Вильно было открыто среднее учебное заведение – коллегиум, который в 1579 году указом короля Стефана Батория был преобразован в Академию со всеми правами европейских университетов. Библиотека Академии насчитывала более 60000 книг. В XVI веке здесь проходили обучение 700 студентов, а в XVII веке – 1200. Преподавателями Академии были и приезжие, и свои ученые. Академия сыграла большую роль в развитии высшего образования в Беларуси.

В 1773 году Академия была преобразована в Главную школу Великого княжества Литовского с подчинением образовательной комиссии. В этой школе были открыты физический и философский факультеты, а позже – медицинский.

После раздела Речи Посполитой Академия была переименована в Главную Виленскую школу, а затем в Императорский университет (1803

год). Университет стал учебным, административным и культурным центром округа.

Образование, полученное в этом университете, соответствовало уровню лучших университетов Западной Европы.

В 1812 году была открыта Полоцкая академия, готовящая кадры гуманитарного профиля (преподавание на белорусском языке велось на первом курсе). Академия была хорошо оснащена технически. По приглашению Российской академии преподаватели Полоцкой академии принимали участие в выставках технических изобретений. В 1820 году по политическим соображениям Полоцкая академия была ликвидирована, а в 1832 году был закрыт и Виленский университет.

В 1840 году была открыта Горы-Горецкая земледельческая школа, готовящая специалистов двух разрядов – высшего и низшего. Высший разряд – руководители государственных и частных хозяйств, низший – технические помощники руководителей. В 1848 году на основе высшего разряда школы был создан Горы-Горецкий земледельческий институт – первая в Беларуси и Российской империи высшая агрономическая учебная организация. Институт готовил высококвалифицированных специалистов сельского хозяйства, владеющих знаниями в области химии, физики, математики, минералогии, геодезии, что способствовало развитию сельскохозяйственного машиностроения. За участие студентов и преподавателей в восстании 1863–1864 гг. институт был переведен в Петербург, где в 1877 году объединен с Петербургским лесным институтом в сельскохозяйственную и лесную академию (в настоящее время Сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева). После перевода института в Петербург в Беларуси опять не осталось высших учебных заведений, хотя потребность в них существовала. Несмотря на многочисленные обращения городских дум разных городов Беларуси, предпринимательских объединений и общественности о необходимости создания университета или технического института в Минске или Витебске, решение этого вопроса откладывалось. Такое решение было принято только в 1920 году, когда возникла острая необходимость в подготовке специалистов, обеспечивающих развитие промышленности.

В 1859 г. при Горы-Горечком земледельческом институте основано учебно– промышленное предприятие – литейно-механический завод сельскохозяйственного оборудования (оснащен 2 паровыми машинами, локомотивом, вагранкой, доменной печью на 50 пудов чугуна).

В 1920 году постановлением Президиума Ревкома СССР Минское политехническое училище было преобразовано в Высшее техническое учебное заведение – Белорусский политехнический институт (БПИ), деятельность которого прервалась в годы оккупации. Институт был

восстановлен в 1944 году. В его состав входили строительный, торфомелиоративный, механический и химико-технологический факультеты, обеспечившие инженерными кадрами наиболее важные отрасли народного хозяйства.

В 1921 году открылся Белорусский государственный университет. Для подготовки рабоче-крестьянской молодежи к поступлению в ВУЗы были созданы рабочие факультеты (рабфаки).

В 1922 г. был организован Институт белорусской культуры, в 1929 г. преобразованный в Белорусскую академию наук.

В последующие годы развитие высшего образования идет по пути расширения уже функционирующих высших учебных заведений, создания новых, укрепления связей ВУЗ – наука – производство.

К 1960–61 гг. Белорусский политехнический институт имел уже 10 факультетов, которые готовили инженерные кадры по разным специальностям в соответствии с запросами развивающейся промышленности. В это же время были открыты вечерние общетехнические факультеты в городах Витебске и Могилеве, что способствовало повышению квалификации производственников, ранее получивших среднее техническое образование. Позже были созданы Технологический, Радиотехнический институты, Институт механизации сельского хозяйства, Могилевский технологический институт и др. В настоящее время в Беларуси насчитывается 53 высших учебных заведения технического профиля. В Гомеле в 1978 г. был открыт на базе филиала БПИ – Гомельский политехнический институт, ныне – Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого.

Изменение первоначальных названий институтов в связи с преобразованием их в академии и университеты отражает развитие научно – технической деятельности преподавателей, аспирантов и студентов по фундаментальности, широте тематики и прикладной значимости работ, выполняемых в высших учебных заведениях.

Подготовка инженеров по литейному производству до Октябрьской революции и в первые годы советской власти не проводилась. Для приобретения такой специализации необходимо было выполнение дипломной работы по получаемой специальности. В связи с развитием металлургии и запросами промышленных предприятий в некоторых учебных заведениях технического профиля были созданы специальные кафедры. Одной из первых была создана кафедра «Литейное дело» в Киевском политехническом институте (1925 г.). В 1927 году кафедра «Литейное производство» была создана в Московском высшем техническом училище имени Баумана. Позже кафедры по литейному производству появились в ряде других вузов Москвы, Ленинграда и

других городов.

Получили развитие и научно-исследовательские институты по проблемам литья, координирующие работы этого профиля. Функционирование таких центров способствовало усилению взаимосвязи науки с производством – движущей силой научно-технического прогресса.

В Беларуси специалистов в области литейного производства готовят БНТУ и ГГТУ им. П.О. Сухого.

Основными предпосылками создания литейных кафедр в БНТУ и ГГТУ явилось интенсивное развитие промышленного комплекса в послевоенные годы. Основной заготовительной базой предприятий были литейные цеха, для успешной эксплуатации которых потребовались высококвалифицированные специалисты в области металлургии и литейного производства.

Первая в Беларуси кафедра литейного профиля «Машины и технология литейного производства» была создана в Белорусском политехническом институте в 1954 году. Кафедра стала кузницей инженерных и научных кадров этого направления. Позже были организованы литейно-металлургические кафедры в БИТУ и Гомельском государственном техническом университете имени П.О. Сухого (ранее Гомельский политехнический институт).

Взаимосвязь науки с деятельностью высших учебных заведений в области металлургии и литейного производства осуществляется через сотрудничество с РУП «БелНИИлит», Институтом технологии металлов АН Беларуси (г. Могилев), научно-исследовательскими лабораториями в составе вузов и АН республики, конструкторскими бюро металлургических служб заводов, филиалами соответствующих кафедр на производственных предприятиях и в научно-исследовательских институтах.

Современный инженер должен быть всесторонне развитым человеком (в широком смысле этого слова). Для этого он должен обладать сведениями о накопленном опыте человечества в разных областях знаний. Гуманизация образования также ставит целью подготовку специалиста широкого профиля. Это значит, что речь идет не об инженерной подготовке, а об инженерном образовании. При построении учебного процесса в этом случае должно учитываться, что инженер, как и ученый, должен получить глубокие теоретические знания, участвовать научно-исследовательской работе, ознакомиться с проблемными вопросами техники вообще и в своей стране, в частности. Этому помогают такие дисциплины как математика, физика, химия, теоретическая механика, специальные дисциплины и др. Студенты,

обучающиеся по таким планам, отличаются независимостью мышления, более широким кругозором, умением находить взаимосвязь между разными дисциплинами. Гуманизация образования предполагает учет гуманистических аспектов при решении технических задач – экологические проблемы, физическое духовное здоровье человека, сохранение природных богатств для будущих поколений. По мнению В. Даля и Д. Ушакова “гуманизация – это просвещенное человеколюбие”.

Одна из важнейших целей в подготовке инженера – развитие культуры творческого мышления. Важнейшей задачей гуманитарной подготовки является развитие мировоззрения будущего специалиста с формированием таких качеств личности, как чувство новизны и смелости в постановке и решении вопросов, активно-критическое отношение к действительности. Общая гуманитарная культура обеспечивает широту ориентировки творческой деятельности инженера.

Научно-технический прогресс коренным образом изменяет характер и функции инженерной деятельности специалиста в производственных условиях. Решающее значение приобретают его способности решать сложные задачи с использованием оптимальных вариантов решения. Это требует и разносторонних технических знаний, так как, решая поставленную задачу, инженер должен уметь привлекать знания из других областей. Решение таких задач требует умения творчески мыслить и действовать.

Одним из важнейших способов влияния на развитие творческого мышления является привлечение студентов к научно-исследовательской работе, проводимой кафедрой ВУЗа, с последующим использованием полученных результатов в курсовых и дипломных проектах, участии в студенческих конференциях, написанию статей и др.

Говоря о развитии творческого мышления, следует иметь в виду, что его формирование невозможно без самостоятельной работы над литературой с осмыслением прочитанного.

Современный инженер должен быть адаптирован к существующим экономическим условиям, быть знаком с новейшими технологиями, уметь пользоваться базами и банками данных, обобщающими мировой опыт, знать иностранные языки. В процессе обучения в ВУЗе студент должен стать творческой личностью, умело использующей существующие методы и критерии оценки расчетных схем, конструкций, материалов и технологий. При этом необходимо и знание таких дисциплин как техническая этика, инженерная психология, экология и др. В то же время во время обучения будущий инженер должен познакомиться с реальным творческим процессом создания новой разработки и обеспечения ее реализации. Следовательно, учебный план

подготовки должен включать менеджмент и маркетинг.

Предлагаемые подходы к подготовке высококвалифицированных специалистов и организационное оформление процесса обучения направлены на приведение национальной системы высшего образования к международному стандарту. Намерение о создании единого европейского образовательного пространства было подписано в 1999 году в г. Болонья министрами образования 29 стран. «Болонский проект», к которому стремится и Республика Беларусь, предполагает создание к 2010 году единой европейской зоны высшего образования с взаимным признанием дипломов. Согласно единому стандарту университетское образование должно быть многоступенчатым. Новая структура высшего образования будет состоять из трех уровней: подготовка бакалавра – 4 года, высшее образование – 5 лет, подготовка магистра – 6 лет.

Новые подходы к подготовке специалистов сводятся к следующему:

- разработка гибких учебных планов, позволяющих учесть профессиональный профиль специалиста с учетом его склонности и индивидуальных качеств (к составлению планов желательно привлекать самих студентов);

- обеспечение тесной увязки общенаучной подготовки и фундаментального образования с характером будущей профессиональной деятельности;

- создание научно-технических и инженерных школ, возглавляемых крупными учеными и специалистами;

- всемерное использование поиска новых технических решений с привлечением теории решения изобретательских задач, функционально – стоимостного анализа, новых автоматизированных версий, информационных и нанотехнологий.

Содержание общетехнической подготовки инженеров в связи с изменениями ситуации в Республике Беларусь, появлением малых предприятий, выходом на мировой рынок изменяется в направлении адаптации к новым производственным условиям. При этом следует иметь в виду, что уровень подготовки студентов в силу их индивидуальных особенностей не может быть одинаково высоким. Каждому студенту необходимо обеспечить получение образования, которое в наибольшей мере соответствует его способностям, складу характера, личным целевым установкам. В этом плане целесообразна многоуровневая подготовка кадров, проводимая на кафедре. Основные направления деятельности кафедры:

- многоуровневая подготовка инженеров, предполагающая дифференциацию выпускников в соответствии с их знаниями и

квалификацией. Студенты, показавшие возможность овладения фундаментальными и инженерными дисциплинами, после четырех лет обучения и сдачи экзаменов по ряду дополнительных дисциплин могут получить степень бакалавра. Следующая стадия обучения – подготовка инженеров и магистров. Эта стадия занимает 5 лет обучения и завершается защитой диплома. Более высокий уровень подготовки дает магистратура – дополнительный год обучения, завершающийся защитой магистерской диссертации.

Организационное построение высшего учебного заведения.
Организация учебного процесса

Организационное построение высшего учебного заведения достаточно однотипно. Руководитель – ректор. Ему подчинены проректоры (заместители ректора), отвечающие за определенные направления (учебное, научное, хозяйственное и др.). ВУЗ состоит из нескольких факультетов разных технических специальностей. В ГГТУ выпуск специалистов ведут факультеты: механико-технологический, машиностроительный, автоматизации и информационных систем, энергетический, гуманитарно–экономический. Факультеты возглавляют деканы. Декан и его заместители составляют деканат – администрацию факультета. Каждый факультет объединяет студентов одной группы специальностей. Подготовку специалистов определенного профиля осуществляет кафедра, во главе которой стоит заведующий кафедрой, как правило, профессор. Коллектив кафедры составляют преподаватели – специалисты в данной области (профессора, доценты, старшие преподаватели, ассистенты), учебный технический персонал (учебные мастера, лаборанты). Профилирующая кафедра ведет обучение нескольких групп студентов определенных специальностей и специализаций.

Кафедра готовит специалистов по учебным планам, утвержденным Министерством образования. Учебный план подготовки инженеров включает изучение социально-гуманитарных, общеобразовательных и специальных дисциплин.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к подготовке инженеров вообще и инженеров-литейщиков, в частности, обучение инженеров специальности «Машины и технология литейного производства» проводится по учебному плану, в который входит пять групп дисциплин.

1. Социально-гуманитарные.
2. Общенаучные и общепрофессиональные.
3. Специальные дисциплины

4. Дисциплины специализации
5. Дисциплины по выбору.

Главное место в учебном процессе отводится лекциям, которые читают профессора, доценты и старшие преподаватели. На лекциях излагаются основные разделы дисциплины, дается научный анализ явлений и процессов, рассматриваются методы решения инженерных задач и другие вопросы. Лекционный курс ставит целью обеспечить усвоение студентами основных принципов и закономерностей изучаемой дисциплины, методов реализации полученных знаний на практике.

Теоретические знания, полученные на лекциях, закрепляются на лабораторных и практических занятиях, которые проводятся с одной группой (или подгруппой). Студенты знакомятся с постановкой эксперимента, приборами и оборудованием, методами решения конкретных задач.

Учебный план предусматривает также выполнение курсовых расчетно–графических проектов, которые предполагают самостоятельную работу студента во внеаудиторное время с последующей их защитой. Преподаватель в этом случае консультирует и контролирует работу студента над проектом.

Большое значение в подготовке инженера имеют производственные практики, приобщающие студента к условиям работы на производстве по выбранной специальности.

Главная форма контроля знаний студента – экзамен и зачет. Дисциплины, по которым проводятся экзамены и зачеты, регламентируются учебным планом. Завершающим этапом подготовки инженера является выполнение дипломного проекта или дипломной научно-исследовательской работы и их защита перед Государственной экзаменационной комиссией.

Слушая курс лекций по определенной дисциплине, рекомендуется писать конспект с изложением основных положений лекции, записью расчетов, зарисовкой схем и т. д. Желательно при записи лекции оставлять на листе свободную полосу для вопросов и примечаний. Ответы на возникшие вопросы можно найти в соответствующей учебной литературе или у преподавателя.

Самостоятельная работа студента включает и написание рефератов по определенным вопросам с последующим их обсуждением на семинарских занятиях, и подготовка докладов, с которыми студент выступает на конференциях, и написание статей по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

Основной вид самостоятельной работы студента при отработке

лекционного материала или при выполнении технических или научных исследований – работа с книгой. Первым этапом работы является тщательный глубокий поиск имеющихся публикаций, их анализ. Интернет в данной задаче рассматривается как дополнение к библиотеке и поиск может вестись на тех же принципах. При получении информации через ресурсы сети Интернет студент должен обязательно проводить анализ качества источника, его достоверность и уровень квалификации.

Помочь ориентироваться в имеющейся литературе призваны библиотеки, где в библиографическом порядке систематизирована вся литература.

Необходимую литературу выбирают при помощи каталога: алфавитного, в котором литература расположена в алфавитном порядке; систематического, в котором литература расположена в соответствии с универсальным десятичным классификатором (УДК); алфавитно–предметного (вспомогательный к систематическому), в котором с помощью основных понятий, относящихся к теме поиска, находят раздел УДК. Обычно, когда тема поиска известна, поиск проводят по систематическому каталогу, использующему систему УДК.

Универсальная десятичная классификация как средство систематизации литературы находит большое применение в области и технических, и естественных, и экономических наук.

Цель УДК – собрать накопленные человечеством знания, систематизировать их на основе единых принципов классификации так, чтобы для любого исследователя, занимающегося поиском, найти необходимый материал было легко. Только произведя такой систематизированный поиск, можно определить свое место в решении определенной проблемы, наметить дальнейшее направление работы.

УДК построена на цифровом обозначении различных отраслей знаний.

Преимущества УДК сводятся к следующему:

УДК является универсальной международной системой.

УДК позволяет быстрое внесение всех новых публикаций без серьезных изменений в системе.

УДК может стать эффективным средством поиска публикаций, если известны принципы ее построения, изучены все ее возможности и внутренние связи. УДК основана на применении цифр и только в виде исключения в ней используются буквы. Преимуществом цифровой системы является абсолютная однозначность цифр для всех людей независимо от разговорного языка и системы алфавита.

Для инженеров-литейщиков наиболее востребованным является индекс 621.74.

621.74. Литейное производство, технология (способы) и оборудование.

5.1. Формовочные материалы и их подготовка. Подготовка песков и глин. Приготовление смесей. Формовочные материалы. Наполнители. Связующие материалы (крепители). Обработка формовочных материалов.

5.2. Стержни и их изготовление.

Стержни и стержневые материалы. Способы изготовления стержней.

5.3. Формовка. Формы и их изготовление. Модели и модельная оснастка. Литейные формы. Опоки, каркасы, пакеты. Уход и восстановление. Формовочные машины и принципы их действия. Машинная формовка. Способы формовки, в особенности ручной формовки.

5.4. Плавка. Плавильные печи. Шихтовые материалы. Процессы и методы. Печи. Основные типы. Принципы работы, регулирование и эксплуатация. Исходные материалы и добавки, флюсы, шлаки. Плавка. Процесс плавки. Продукты плавки.

5.5. Разливка. Транспортировка и заливка жидкого металла.

621.747. Последующая обработка отливок.

Иногда в индексе целесообразно указание смежной области. Например, смежная область литейного производства – металлургия, индекс 669. Индекс запишется как 621.7+669.

При ссылке на выбранный источник указываются автор, название, место издания, издательство, год издания, объем в страницах, наличие иллюстраций. Для журнальных статей указывается журнал, год и номер выпуска, страницы. При опубликовании своих материалов – необходимо указать индекс по системе УДК.

Цель вузовского образования по специальности «Машины и технология литейного производства» – подготовка инженеров-механиков, которым предстоит заниматься конструированием нового технологического оборудования для литейного производства, эксплуатацией, ремонтом и модернизацией существующего оборудования литейных цехов, реконструкцией старых и проектированием новых литейных цехов и заводов, разработкой новых технологий и машин литейного производства, организацией труда в литейных цехах.

Обучение в ВУЗе направлено на создании у молодого инженера хороших задатков самосовершенствования в его инженерной деятельности. Становление его как инженера требует постоянного повышения своего квалификационного уровня. Без этого он может

остановиться в своем развитии, прибегая при решении возникающих задач к помощи справочников и существующих методов решения.

Основная задача учебного процесса – вызвать у студента творческий интерес к своей профессии, внутреннюю потребность к саморазвитию, поиску новых решений.

История развития литейного производства

История развития человеческого общества предполагает деление всего времени на отдельные периоды (эпохи). В основе этого деления должен быть заложен определенный признак. Общественные науки в качестве такого признака используют структуру и общественные формации (первобытный строй, рабовладельческий, феодализм и т. д.). Однако история развития общества непосредственно связана с уровнем техники, при описании развития которой используется иной признак – характер труда, орудия производства.

История развития литейного производства в качестве основного признака использует материал орудий производства и способ получения металлических изделий. Литейное производство – один из самых древних видов обработки металлов. Об этом свидетельствуют результаты археологических раскопок. Однако история не сберегла ни названия страны, которая дала первых литейщиков, ни сведений о том, как появилось на свет это ремесло. Можно лишь упомянуть тот факт, что самой древней отливкой, найденной археологами, является бронзовая статуэтка льва из древнего Шумера, предшественника Вавилона, которой около 5 тысяч лет.

Живший в I веке до нашей эры римский поэт Лукреций в поэме «О природе вещей» свои представления о первых отливках выразил следующим образом: «С шумом зловещим леса пожирало горячее пламя. До основанья корней – только недра земли распались И в углубленья ее, собираясь, по жилам кипящим «Золото, медь, серебро потекли раскаленным потоком ... Вместе с ручьями свинца. А когда на земле появились Слитки застывшие, отливавшие ярко, то люди начали их поднимать, плененные глянцем блестящим, и замечали потом, что из них соответствует каждый. В точности впадине той, которая их заключала.

Это внушило ту мысль, что, расплавив, металлы возможно «В форму любую отлить и любую придать им фигуру...»

Историю развития литейного производства необходимо рассматривать во взаимосвязи с развитием металлургии и металловедения, так как металлургия – это область техники, наука, изучающая процессы получения металла. По определению Грюнера (XIX в.) «Металлургия – это искусство при помощи огня добывать из руд

металлы».

Металловедение – наука, изучающая строение и свойства металлических материалов, устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами, разрабатывающая пути воздействия на свойства металлов.

Литейное производство – это область техники, включающая все этапы получения из металла готового изделия. Анализ литературы по этим вопросам показывает, что развитие металлургии и литейного производства, рассмотрение круга используемых материалов по праву следует считать весьма существенным аспектом истории человеческого общества, во многом определяющим характер существующих общественных формаций. Поэтому историю развития литейного производства, металлургии и науки о металлах следует рассматривать параллельно с историей развития человеческого общества.

Появление литейного производства не может быть связано с конкретным местом. Известно, что районом, где ранее всего использовалось литейное ремесло, был район, охватывающий нынешние Закавказье, Турцию, Иран,

Ближний Восток, Месопотамию, Египет и др. Постепенно эти территории расширялись.

Говоря об истории развития литейного производства, целесообразно пользоваться определенной хронологической систематизацией веков истории.

Хронологическая систематизация древней истории, была заложена датским ученым-историком Христианом Юргенсоном Томсенем (1810 г.), в основе которых лежали результаты археологических раскопок.

Рассматривая их в хронологическом порядке и взяв в качестве определяющего признака материал, наиболее широко использующийся в определенное время, он предложил деление древней истории на три периода: 1. Каменный век. 2. Бронзовый век. 3. Железный век.

Каменный век подразделяется на палеолит – древнекаменный век и неолит – средний и новый каменный век. Палеолит (начало его относится к периоду времени в сотни тысяч лет до нашего времени) характерен тем, что основным материалом был камень, из которого изготавливались, в основном, рубила. Следует отметить, что в конце этого периода человеку попадались «самородки» из золота, но они использовались в основном в качестве украшений или в быту: котлы, посуда, ножи. Техниккой обработки металлов человек не владел.

Неолит (он охватывает период времени в десятки тысяч лет до нашего времени) характерен овладением искусством шлифовки и

сверления каменных орудий производства. Камни добывались в глубоких шахтах со штреками, что обеспечивало их разнообразие. В неолите продолжалось знакомство человека с самородными металлами – золотом и медью. Поэтому поздний период этого века иногда называют золотым веком. Использование этих металлов было распространено в долинах Нила, Тигра и Евфрата, где на смену первобытному строю, присущему каменному веку, пришел первобытно-общинный и рабовладельческий строй. Однако и тогда золото, а позже медь использовались, главным образом, для изготовления украшений.

В остальной Азии и Европе развитие общества шло медленнее, но золото было известно и там. Получение изделий из золота свидетельствует о зачатках литейного производства.

Знакомство с металлом произошло в переходный период от каменного к бронзовому веку – эпоху энеолита. По времени это XXX–XXV в.в. до н. э.

Первые изделия из меди (наконечники стрел и копий) были сделаны из самородков. Прошло немало времени, прежде чем люди научились плавить бронзу и заливать ее в формы. Познания в металлургии были в это время настолько ничтожны, что говорить о технике литья не представляется возможным. Производство изделий из медных руд было известно небольшому кругу племен или народов. Это ремесло представлялось как «искусство». Археологические раскопки позволяют говорить, что при литье использовались открытые и закрытые формы. При этом использовали формы многократного использования.

Существенным недостатком меди, не позволяющим исключить из обихода каменные орудия, являлась низкая ее твердость, прочность и износостойкость.

Бронзовый век – решающие шаги в повышении качества и комплекса свойств литья. Это переход от меди к ее сплавам с другими элементами.

Литье изделий из бронз появилось в крупных культурных центрах древности (долины Тигра, Евфрата, Нила, Яндзы и Хуанхэ). В Египте бронзовые изделия появились в XX в. до н. э., на Среднем Востоке и Кавказе несколько раньше. Состав сплавов, применявшихся в то время, был разнообразен и в известной мере зависел от используемых руд. Технология получения бронзовых отливок совершенствовалась, о чем свидетельствует использование для дутья вместо трубок мехов. Этот период также отражен в древних мифах. В настоящее время известно, что первые бронзы были не оловянистыми, а мышьяковистыми, т. е. сплавами меди с мышьяком, крайне ядовитым веществом.

Железный век – век получения литого железа. Кем, где и когда

впервые открыто железо достоверно неизвестно. По мнению некоторых ученых первое знакомство человека с железом произошло в результате соприкосновения с метеоритным железом. Самое древнее железное изделие, найденное в Египте, относится к IV тысячелетию до н. э. Это ожерелье из прокованных полосок метеоритного железа (метеоритное железо содержит 8–10 % никеля). Метеоритное железо обрабатывалось также как медь. Из-за своего происхождения железо называли «небесной медью». Люди, работающие с железом, пользовались почетом и уважением, считалось, что они обладают сверхъестественными способностями.

Позже железо стали выплавлять из руд. В сыродутных горнах железную руду восстанавливали древесным углем и получали «ковкое железо». Вполне вероятно, что, как и многие другие открытия, оказавшие влияние на жизнь и судьбу человечества, железо было открыто случайно. Это открытие было связано с использованием огня, неизбежно присутствующего в очаге первобытного человека. Для устойчивого поддержания огня очаг обкладывали камнями. Выбирая золу, особенно после длительного жаркого пламени, человек находил в ней лепешки синеватого цвета с красными пятнами. Они привлекли его внимание твердостью, блеском, пластичностью. Благодаря наблюдательности отдельных человеческих особей, осмысливших возможности придания этому слитку определенной формы, стало возможным получение нужного орудия производства. Оценив преимущества нового орудия по сравнению с каменным и бронзовым, человек заинтересовался направленным получением нового металла, пытаясь установить причину получения его: первопричина – использование для облицовки тигля особого камня (по современной терминологии – железной руды), эта руда в сочетании с углем, сажей при температуре пламени давала новый металл. Таким образом, сам того не предполагая, человек получил железо и железоуглеродистые сплавы.

Вместе с тем, при использовании других камней в золе находили корольки – слиточки другого металла (свинца, олова и др. металлов). Следует отметить, что очередность знакомства с этими металлами случайна и зависела, главным образом, от привлекательности каждого. Однако воспроизвести это случайно замеченное явление первобытному



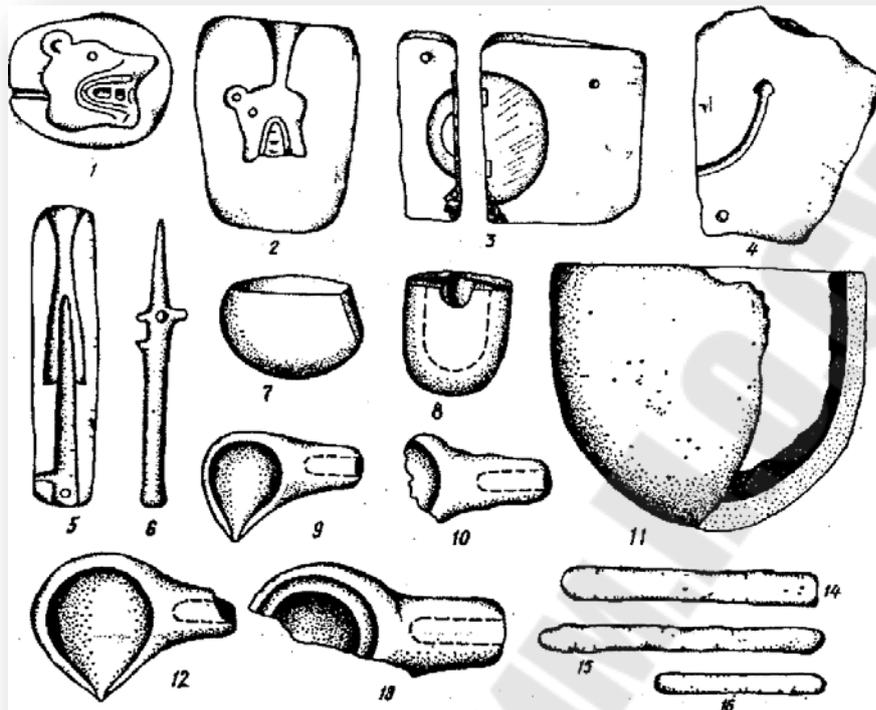
Рисунок 1 - Золотой гребень из кургана Салоха (Русь, Скифский период).

человеку вряд ли удавалось. Значительно позже была создана маленькая шахтная печь, в которую загружалась руда и уголь, производился нагрев и дутье, и в качестве конечного продукта получалось железо. Железо не вытеснило из обихода бронзу, так как было очень дорогим металлом и хранилось в царских сокровищницах.

В истории Востока и Средней Азии железный век просматривается раньше, чем в Китае, где по существу из руды получали не непосредственно ковкое железо, а чугун.

Развитие металлургии у всех народов в основном шло классическим путем: камень-медь-бронза-железо. Однако, у некоторых народов железный век следовал непосредственно за каменным, что связано с использованием при плавке болотных руд и латерита.

В настоящее время большинство исследователей склоняются к тому, что первыми районами появления литья является территория, охватывающая Закавказье, южную Туркмению, Турцию, Иран и некоторые государства Ближнего Востока. Археологические раскопки на территории Турции (Анатолия) и Месопотамии относят найденные образцы к XXX в.в. до н. э. На территории Скифии литье меди было известно в IV–III в.в. до н. э. Среди металлических изделий этого периода были не только украшения и предметы обихода, но и оружие. Археологические материалы скифской эпохи (VII–III в.в. до н. э.) показывают, что с появлением железа литье изделий из меди и бронзы продолжало развиваться, так как скифские воины пользовались луками, наконечники стрел было легче изготавливать из бронзы.



1–6 – литейные формы; 7, 14 – 16 – товарные слитки металла (материал); 8–11 – тигли; 9,10, 12,13 – льячки.
 Рисунок 2 - Орудия и материалы литейного производства скифского периода.

Расцвет бронзолитейного производства на этих территориях приходится на X–V в. до н. э. Расширилась номенклатура отливок (наконечники, копья, кинжалы, топоры и др.). При литье использовались «постоянные» формы из талькового сланца. Среди археологических раскопок находят толстостенные плавильные тигли, ложки для заливки металла, глиняные, каменные и металлические формы. Основными отливками были украшения и предметы обихода.

Мощный центр литья в X–III в.в. до н. э. был и Кавказский. Отсюда литье распространялось в Казахстан, Урал, Среднюю Азию, Алтай, Сибирь и др.



Рисунок 3 - Отливки из мартыновского клада (VI в до н. э.).

Технология получения бронзовых отливок совершенствовалась, о чем свидетельствует использование для подачи воздуха при литье вместо трубок мехов. Археологические исследования на территории древней Руси доказали широкое распространение и высокий уровень культуры литейного производства. Медные и бронзовые отливки здесь производились в большом количестве. Объектами древнерусского литейного производства были предметы церковного обихода (колокола, церковные двери, паникадила, кресты и др.), предметы вооружения (топоры-секиры, ножи, наконечники стрел, копий и др.) и предметы домашнего обихода (рукомойники, котелки и др.).

Спрос на литые изделия способствовал созданию подобных отливок в различных кустарных центрах древней Руси и прежде всего в Киеве, где раньше, чем в других местах, осели пришлые греческие мастера.

Периодизация в развитии древнерусского литейного производства на Киевской Руси сводится к следующему.

Первый период (с VI по VIII в.в.) характеризуется отливкой украшений и орудия из меди и бронзы с применением формовки по восковой модели в каменные формы из мягкого известняка в лесостепной полосе. Бронзовые отливки в то время были редким товаром и военной добычей.

Литьем занимались литейщики профессионалы, освоившие

производство не только литых орудий труда и оружия, но и художественных изделий. В Киеве при раскопках обнаружены уцелевшие горны, печи специального устройства, а также каменные формочки, служившие для отливки котлов, колец, браслетов и т. д. Помимо Киева литейное ремесло использовалось и в других городах Руси.

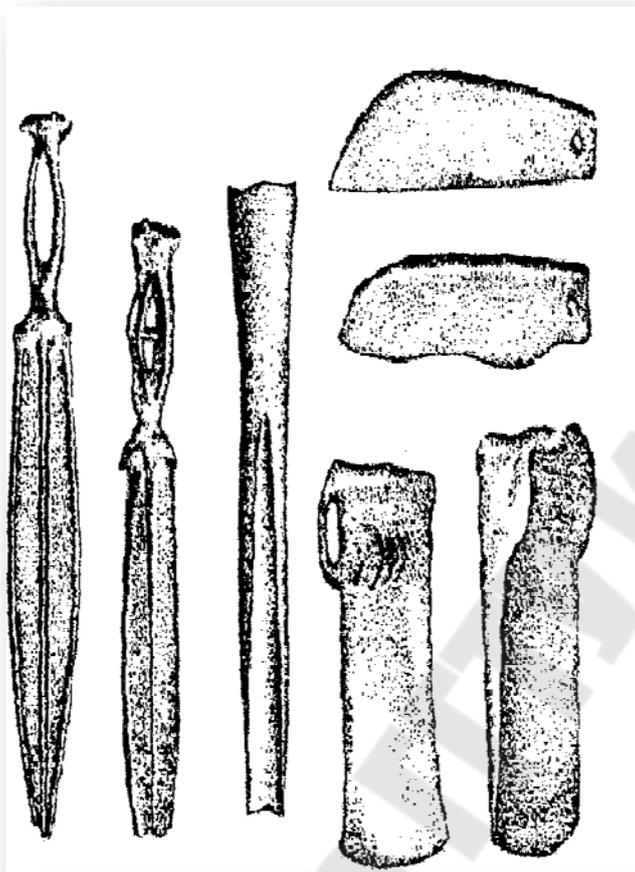


Рисунок 4 - Некоторые бронзовые изделия из сосново – зенского клада Среднего Поволжья (конец III – начало II в до н. э.)

свидетельствуют находки каменных форм и литых изделий в Киеве, Чернигове и др.

Третий период (со второй половины XII в. по XIII в.) – период наивысшего расцвета древнерусского литейного ремесла. Ассортимент отливок еще больше расширяется, усложняются и сами отливки (колокола, булавы и т. д.). Каменные формы делаются из более твердых пород камня.

В этот период проявляется влияние на развитие русского литейного производства «немцев» (выходцев из Тевтонского ордена и Германии). По свидетельству летописей это влияние ограничивается немногими

Второй период (IX–XII в.в.). Для этого периода характерно расширение выпуска отливок и их ассортимента. Высокий уровень культуры древнерусских ремесел можно объяснить тем, что славяне и их предки – анты, имели достаточно развитые торговые отношения с наиболее культурными народами тогдашнего мира – Византией и арабским миром. В основном организаторами производства отливок были княжеский и митрополичий дворы, а также монастыри.

По сведениям, приведенным в трактатах Теофила, в древней Руси IX в. было развито художественное литье, которое уступало только Византии, о чем

княжествами древней Руси (Полоцкое, Смоленское, Псковское, Суздальское).

Развитию литейного производства способствовал постепенный рост политической и экономической роли северных и северо-восточных земель (Великий Новгород, Черниговское княжество, Суздальско-Владимирское княжество и др.). В результате развития отдельных областей и экономических отношений между ними возрос спрос на литые изделия, что, как следствие, способствовало созданию местных центров литейного производства.

Мастера-литейщики ценились в древней Руси очень высоко. За убийство мастера был установлен штраф 12 гривен (вдвое больше, чем за простого человека). Их имена были хорошо известны в обществе. Об уровне литейного мастерства этого времени свидетельствует Юрский колокол (высота 85 см, наибольший нижний размер 71 см, масса 415 кг. Отличаясь по форме от западных колоколов, Юрский колокол является уникальным памятником XIV в.

Усложнение конфигурации изделий способствовало появлению двусторонних форм из твердых пород камня, снабженных разветвленными литниковыми системами, использовалась также формовка в глине. Плавка металла велась в тиглях. Для контроля расплава делали пробу на жидкотекучесть. Особо следует отметить, что в XIV было освоено литье бронзовых пушек.

Нашествие орды задержало развитие литейного дела на Руси. Поскольку торговые пути во время татаро-монгольского нашествия оказались закрытыми, торговопромышленная жизнь начала перемещаться в северные области древней Руси, лежавшие вблизи от новых торговых путей, связывающих Восток с Западом (Тверское, Московское княжества, Великий Новгород). С XIV в. производственными центрами медного литья становятся именно эти территории (Москва, Новгород). Повышенный спрос на литье и сравнительно несложное производство меднолитых изделий способствовало повышению кадров ремесленников – литейщиков за счет крестьянского и городского населения. В этот период меняется характер и технология литья. Преобладающей является Московская школа литейщиков. Дальнейшее развитие меднолитейного ремесла не внесло существенных изменений в тематику литья, отличной являлась отделка деталей с широким привлечением чеканки.

Со второй половины XIV в. одним из наиболее сильных и богатых княжеств становится Москва, где концентрируются все выдающиеся силы в области искусства и ремесла и, в том числе, литейного ремесла. В это время в Московском государстве начинает развиваться литье

бронзовых пушек и ядер. Задача овладения искусством изготовления пушек была поставлена перед литейщиками Дмитрием Донским. С технологической точки зрения форма пушки представляет собой упрощенную форму колокола. Поэтому освоение производства литья пушек для колокольных мастеров не представляло особых затруднений. Отливка пушек на Руси началась с 1393 г. (по другим данным в 1382 г.).

Для московских властителей было очевидно превосходство западных государств в научных и прикладных знаниях по литейному производству. В XV в. был приглашен из Европы знаменитый, по тем временам, механик, инженер-архитектор Аристотель Фиораванти в качестве руководителя по производству пушек, были приглашены и другие специалисты.

Производство пушек и огнестрельного оружия при Иване III и его наследнике было поставлено в широком масштабе. Опытные пушечные мастера ценились в Москве высоко. Такое отношение объяснялось тем, что мастер – литейщик в этот период был и конструктором своих орудий и артиллеристом.

Первым литейным заводом в России была Пушечная изба, построенная в Москве в 1479 г. В 1648 г. в Москве был построен первый русский ружейный завод «Ствольная мельница». В XVII веке пушки отливают уже и в других городах России. К середине XVI в. Москва по количеству артиллерийских орудий занимала одно из первых мест среди европейских государств. В качественном отношении русская артиллерия также не уступала западно – европейской.

В истории упоминается такой факт. При Василии III в 1506 г. вместе с войском был послан под Казань и «огнестрельный наряд» (артиллерия в сопровождении нескольких иноземных и русских специалистов). Поход закончился неудачно. Пушки были потеряны. Великий князь не разгневался на пушкарей, а одного из них даже наградил. Пушкарю, который с опасностью для жизни спас пушки он сказал: «Ты берег наряд, а не берег себя... Знай же, что люди искусные мне дороже пушек. Я ни во что не ставлю потерю их, лишь бы у меня остались люди, умеющие лить пушки и обходиться с ними».

Центры литейного ремесла были разбросаны по всей стране (Тверь, Вологда, Соликамск, Сольвычегодск, Киев, Полтава и т. д.). В XVII в. появились литейные заводы. Так, в Ростове Великом был построен завод, на котором отливались крупные изделия (например, колокол 2000 пудов). Организатором был местный епископ Иона. Мелкие пушечные и колокольные заводы – мастерские были построены во многих других городах. При Петре I были построены арсеналы для литья бронзовых пушек в Петербурге, Казани, Петрозаводске, Нарве, Пскове, Кронштадте

и др. городах. В Москве, помимо Государственного Пушечного двора, существовали и частные литейные заводы, как, например, завод братьев Маториных.

В XVII в. в Москве был построен второй правительственный завод для отливки пушек и снарядов – Гранатный двор. Москва была инициатором и организатором новых приемов и методов литья. Главными соперниками Москвы были Новгород и Псков. С течением времени литейное ремесло становится наследственным. Знаменитыми русскими мастерами были Андрей Чохов – придворный литейщик, Емельян Данилов, Александр Григорьев, Мартьян и Яков Осиповы, Семен Леонтьев и многие другие, которые оставили нам прекраснейшие образцы литейного искусства. В XVII веке бронзо-литейное производство пушек начинает вытесняться чугунолитейным. В 1700 г. после разгрома русских войск под Нарвой русская артиллерия имела только 254 пушки, а в 1725 г. – 16 тысяч. Большая часть этих пушек была отлита из чугуна. Самая большая массой 39 т, была отлита известным литейщиком Андреем Чоховым (Царь-пушка) в 1586 г.

Шедевром бронзового литья является и Царь-колокол массой 205 т, отлитый Иваном и Михаилом Маториными в 1733–1735 гг.

Со второй трети XIX в. наступает упадок производства художественной бронзы. Ради удешевления бытовых изделий начинают применять низкосортные медные сплавы, гальванические покрытия драгоценными металлами, механические способы обработки (штамповка, накатка и др.).

Новое художественное осмысление бронза получает в последнее десятилетие XIX в. и в начале XX в. в творчестве импрессионистов.

Зарождение чугунолитейного дела. В большинстве европейских языков термин "чугун" является производным от коренного термина, присвоенного основному материалу железоуглеродистых сплавов – железу и означает "литое железо".

Чугун, как литейный материал, был изобретён и освоен в Китае много веков до нашей эры, о чём свидетельствует четырёхзарядная пушка, отлитая в 5 веке до нашей эры, и существующие до сих пор чугунные отливки. Это объясняется тем, что китайцы использовали железные руды с высоким содержанием фосфора (5–7 %) с температурой плавления на 100 градусов ниже, чем температура плавления бронзы. Так как порох появился в Китае, примерно, в тот же период объединение этих двух открытий привело к появлению артиллерии. По данным других исследований истории литейного производства, основанных на территории Центральной Африки, делается вывод о том, что черная металлургия возникла именно на этом континенте. При этом отличается,

что становление металлургии здесь шло не классическим путём (камень-медь – бронза-железо), а железный век следовал непосредственно за каменным. Такой путь овладения железолитейным ремеслом объясняется отсутствием меди в лесах и саваннах тропической Африки и использованием в качестве сырья болотных руд и материалов. На этих территориях были найдены плавильные печи и шлак, подтверждающие становление железолитейного дела. Однако эти археологические находки относятся ко II веку до нашей эры (Центральная Африка) и I в. до нашей эры (Северная Нигерия).

Ознакомлению с чугунным литьём Китая жителей Средней Азии и Восточной Европы способствовала монгольская империя (XIII в.). В других странах чугун стал использоваться в XII–XIV вв. Для этого использовали шахтные печи – домницы. Об этом свидетельствуют найденные в раскопках на территории тунгусо-маньчжурских народностей: котлы, ступицы колёс и др.



Бронза. Литейный мастер А. Чохов. Литой лафет-чугун. Автор А.П. Брюлов, 1835 г. Москва.

Рисунок 5 - «Царь-пушка» в Кремле (фотография начала XX века).

Древняя Русь имела непосредственные связи с Золотой Ордой, поэтому чугунолитейное производство на Руси было известно раньше, чем на Западе. Из истории литейного производства известно, что уже при Иване Грозном (XIV в.) было основано литье чугунных колоколов (в Женеве колокол из чугуна был отлит в 1610 г.). Имеющиеся данные свидетельствуют, что уровень развития чугунолитейного производства в

Московском государстве в XVI в. был достаточно высок. В XVII в. начинается интенсивная разведка рудных богатств страны. Эта разведка проводилась выписанными из-за границы "рудознателями", их русскими учениками и частными кустарями из местных крестьян. В 1631 г. в России был построен первый железодельный завод – Нитинский. В 1632 г. царем Михаилом Фёдоровичем дается жалованная грамота Виниусу на постройку "мельнишных" (вододействующих) заводов.

Развитие чугунолитейного производства в России связано с отечественными мастерами: Яков Осипов Дубинка, Иван Иванов, Степанов и др. и фабрикантами Демидовыми, Баташевыми, Мосоловыми, Баталовыми и др. Так в 1696 году Н. Демидов построил чугунолитейный завод (на р. Тулица), где отливались артиллерийские припасы. Эти припасы Демидов поставлял казне значительно дешевле иностранных концессионеров, несмотря на то, что завод был построен без субсидий от государства. В благодарность Петр I уплатил Демидову за первую поставленную им партию снарядов цену вдвое большую, чем иностранцам.

Применение чугуна в качестве литейного материала знаменует собой становление литейного ремесла, как самостоятельной отрасли производства, начало новой эры в литейном производстве.

На первых русских чугунолитейных заводах отливали главным образом пушки, ядра и гранаты. Однако постройка новых заводов потребовала большого количества деталей металлургического оборудования, не требующей особого внешнего оформления. Это позволило перейти на более простые и экономичные способы формовки: литье в песчаную форму, изготавливаемую по постоянной деревянной модели.

Применение чугуна литья способствовало и развитию художественного литья и, в частности, литья колоколов.

Географическое распределение чугунолитейных заводов определялось рядом факторов:

1. наличие небольшой реки – движущей силы производства;
5. наличие лесных массивов, обеспечивающих производство древесным углём;
6. наличие вблизи завода руды;
7. удобные пути сообщения с потребителями.

Эти факторы удовлетворялись Тульско-Каширскими заводами, Средне – Окский район, Урал. Возникающая потребность в рабочей силе обеспечивалась переселением людей на Урал и Сибирь. Развитие производства диктуется и политическими соображениями (войны).

Большая роль в развитии чугунолитейного производства принадлежит Петру I. Если в начале царствования Петра I в России железоделательное производство с трудом удовлетворяло потребности страны, то к концу его правления в России уже было более 200 металлургических заводов. В 1716 г. чугун экспортировался в Англию, а к концу XVIII в. Россия стала крупнейшим в мире экспортером чугуна. Для того чтобы обеспечить выпуск такого количества пушек, необходимо было улучшить организацию производства. Если раньше для каждой пушки готовилась особая неразъемная модель и использовалась в основном "медленная формовка"*, то в XVIII в. на смену ей приходит разъемная деревянная формовка. Процесс изготовления пушки способом медленной формовки показан на рис. 7

Из других попыток технологического процесса следует отметить замену глиняной формы металлической (1724 г.), отливка пушки в виде болванки с последующим высверливанием внутреннего канала и др.

Изменения в организации производства сводились вначале к отделению обязанностей литейщика от обязанностей артиллериста, затем обязанностей конструктора от обязанностей литейщика. Обязанности литейщика сводятся к выполнению и совершенствованию технологического процесса производства пушек. Все мероприятия обеспечили не только увеличение выпуска пушек, но и повышение их качества. Рост выплавки чугуна в период с 1725–1750 гг. достиг 2000 тысяч пудов (рост в 2.5 раза).

Существенные новшества в металлургическом и литейном производстве в этот период связаны с именами Баталовых. Они на своих заводах впервые в России построили особую чугунолитейную мастерскую с двумя поворачивающимися печами – прототипами будущих вагранок для переплавки лома, боя и др. отходов. Преимуществом этих печей была легкость опрокидывания и управления при разливке чугуна. Благодаря быстродвижущимся мехам для подачи воздуха было обеспечена обильная подача воздуха и быстрота плавки.

Образцами для создания подобных печей были переносные печи, используемые ранее французскими кустарями-литейщиками которые, в свою очередь, позаимствовали их конструкцию у ремесленников – выходцев из Китая. Высокая оценка конструкции таких печей подтверждается рекомендацией её для их устройства на заводах Швеции по рекомендации шведского металлурга Норберга, изучавшего доменное производство в России (1794 г.).

Во второй половине XVIII века расширился ассортимент отливок, выпускаемых литейными заводами за счёт обслуживания металлургических и машиностроительных заводов, бытовых нужд

населения (камины, котелки, ворота и др.).

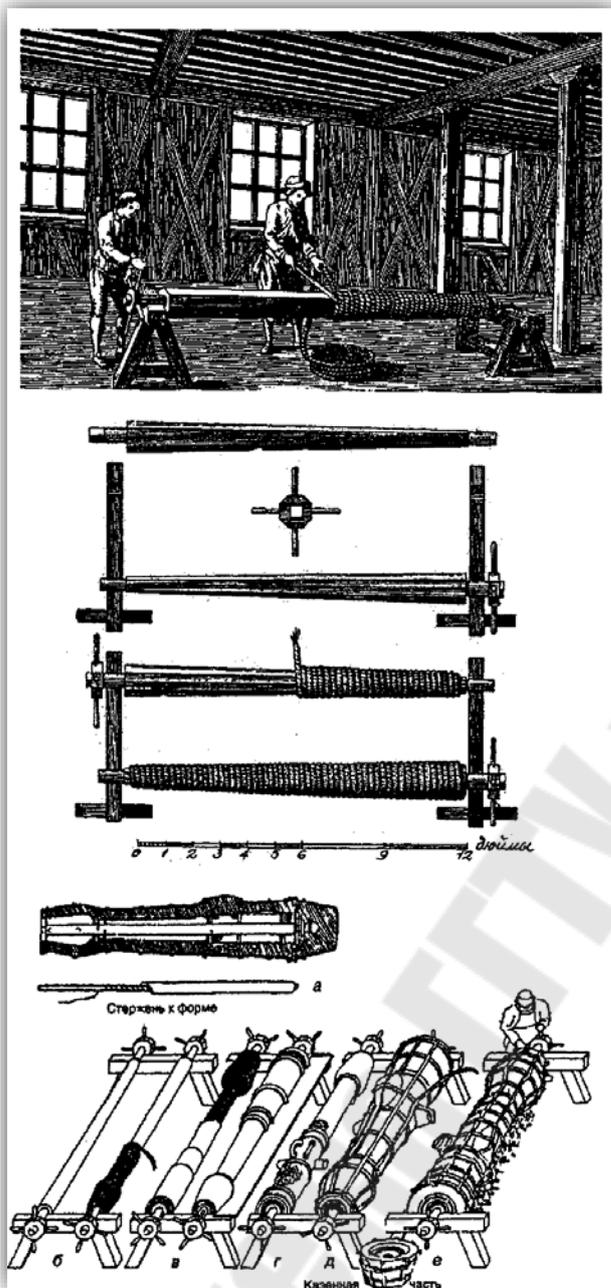


Рисунок 6 – Медленный способ формовки пушек (наверху намотка соломенных жгутов на конический сердечник, внизу – вид сердечника в процессе намотки) и пооперационное изготовление литейной формы пушки.

Необходимость улучшения качества отливок на некоторых заводах требовало принятия срочных мер. В 1786 г. в Петербург был приглашён бывший директор Карронского завода в Англии, который с прибывшей группой техников и художников приступил к перестройке и преобразованию пушечнолитейного Александровского завода. Вот небольшой перечень этих усовершенствований: построены две новые доменные печи с цилиндрическими воздуходувками, несколько пламенных печей, малая подвижная печь (поворотная), машины для сверления пушек и другие. Пламенные и поворотные печи были предназначены для переплавки чугуна и позволили более легко

регулировать состав и качество переплавляемого металла, что затруднительно в доменной печи.

Именно эти усовершенствования обеспечили повысить качество отливок и сократить процент брака.

В 1789 г. Гаскойном был построен Кронштадский литейный завод, а в 1801 г. Санкт-Петербургская литейная фабрика. В Санкт – Петербурге раньше, чем в двух городах России были построены самостоятельные заводы вторичной плавки.

История развития производства литой стали непосредственно связана с чугунолитейным производством, так как для получения стали, было необходимо снизить в чугуне содержание углерода, кремния и марганца. Удаление этих элементов достигается за счет окисления их кислородом. Для этого необходимо обеспечить высокую температуру расплава и подачу кислорода.

История получения стали, включает ряд последовательных совершенствований.

Первый способ получения из чугуна железа (стали) – пудлинговый способ (от английского слова «пудл») Способ состоял в том, что в печь с температурой 1200 – 1400°C загружался чугун и доводился до плавления. Пудлинговщик тщательно перемешивал расплав, находящийся на поду печи («луза»). При перемешивании углерод, кремний и марганец выгорали, и чугун превращался в мягкое железо.

Полученная «крица» (густое железо с температурой ниже температуры плавления) извлекалась из печи и проковывалась в холод. Размер крицы был невелик (около 30 кг).

Для получения стали, пудлинговое железо насыщали углеродом. Сталь получали в виде полос, которые затем сваривали и ковали. В развитии технологии получения стали таким способом представляют интерес работы Реомюра и Хатсфильда (первая половина XVIII в.). Результаты первых исследований сплавов на основе железа были опубликованы в ряде работ: «Искусство превращения ковкого железа в сталь», «Искусство умягчения литого чугуна» и др. В этих работах впервые даны научные основы термической обработки чугуна и сплавов на основе железа. Реомюром была создана передвижная поворотная вагранка, в которой чугун расплавлялся непосредственно с топливом, было предложено устройство для дутья (кожаный мех). В лаборатории для исследования микроструктуры он использовал микроскоп, твердость определял царапанием, а не напильником.

По мнению Реомюра, принципиальное различие между чугуном, железом и сталью состоит в следующем: «основой является чистая железная субстанция, соединенная с большим или меньшим количеством

сернистой солевой материи, причем больше всего ее содержится в чугунах и меньше всего в ковком железе, в стали содержится среднее количество. Если из чугуна удалить эту сернисто-солевою материю его можно сначала переварить в сталь, а затем в мягкое железо».

Новая эпоха в черной металлургии, связана с переходом от сварочного железа к литейной стали. Это достижение связано с именем Бессемера. Бессемер исследовал возможность плавки чугуна и стали в плавильной отражательной печи. Для повышения температуры в печи он использовал подачу воздуха под порогом, разделяющим ванну и топку, обеспечивая продувку жидкого доменного чугуна воздухом. В результате чугун превращается в железо (1856 г.) Исследования показали возможность получения качественной стали из высококремнистого чугуна с низким содержанием серы.

Массовому производству бессемеровской стали способствовало изобретение Р. Мушета (1859 г.), состоящее в подаче в конце плавки зеркального чугуна с большим количеством марганца и кремния.

Заслужой Бессемера является также осуществление плавки в конверторе – вращающейся печи.

Недостатком способа Бессемера была невозможность удаления из стали фосфора. Устранение этого недостатка было осуществлено Томасом, который предложил футеровку Бессемеровского конвертера известью и добавку извести в расплав (1877 г.).

В 1865 г. французские инженеры отец и сын Мартены разработали печь для получения стали на ее подине из чугуна и железного лома (на основе печи Сименса, использующейся в стекловаренном деле). Печь была пламенной, отапливаемой каменным углем, который сжигался в колосниковой топке под подом печи.

Важным достоинством сименс – мартеновского способа выплавки стали является рудный процесс; процесс плавки стали непосредственно из руды.

В 1867 г. на Всемирной парижской выставке Мартены были награждены Золотой медалью за отличную сталь.

Сопоставляя бессемеровский и мартеновский способы производства стали следует отметить разные способы доставки кислорода: в бессемеровском способе – принудительная подача воздуха, в мартеновском – соприкосновение металла с атмосферным воздухом.

Развитие металлургии стали в России связано с семьей Демидовых. Н. Демидову Петр I подарил Невьянский завод, на котором были построены несколько доменных и подовых печей. Демидов должен был поставлять государству пять тысяч пудов прутковой стали. Внук Н. Демидова построил крупнейшую в мире доменную печь.

Осуществление рудной плавки стали в России было проведено русским офицером – металлургом Обуховым (1820–1869 г.). Он был основателем крупного производства литой стали и стальных пушек в России.

Русский процесс производства, литой стали является видоизменением бессемеровского процесса, который использовался в Швеции. Шведский процесс предполагал подачу жидкого чугуна, взятого непосредственно из доменной печи. При этом использовали чугун с низким содержанием кремния и повышенным содержанием марганца, что позволяло сократить продолжительность продувки и снизить температуру (холодный ход) плавки.

Особенности русского процесса зависели от естественных условий: чугун плавился в вагранках, а не домнах, что делало возможным повышение температуры плавки и сокращение времени продувки. Процесс был осуществлен Д.К. Черновым на Обуховском заводе.

Подобный обуховскому способ выплавки стали был разработан и на Урале (способ Нижне-Саидского завода). Переплав чугуна в этом случае проводился в печах Сименса.

Дальнейшее развитие сталелитейного производства шло в направлении получения специальных сталей. В этой связи следует отметить заслуги русского литейщика – металловеда Аносова П.П., открывшего секрет булатной стали во время работы на литейном заводе в г. Златоусте.

История литья в Беларуси

На территории Беларуси литье известно с начала II тысячелетия до н. э. Самое древнее металлическое орудие, найденное археологами (медное долото) датируется 3,5 тыс. лет до н. э. Многочисленные находки тиглей, литейных форм, заготовок сырья, готовых изделий, шлаков при раскопках древних городищ на территории Беларуси свидетельствуют о широком распространении литейного дела и высокой квалификации древних мастеров. Для получения отливок зачастую использовали каменные или глиняные разъемные формы (рис.). В середине 1-го тысячелетия н. э. пользовались каменными формами. В IX–XI вв. преобладают глиняные формы, изготовленные по выплавляемым моделям с односторонней профилировкой. В XI в. использовали и двухсторонние формы. В позднефеодальный период для получения орнаментированных колоколов, пушек использовали формы сложных конструкций. Изготавливали формы из разных пород камня, огнеупорной глины. Для получения изделий со сложной рельефной орнаментацией использовали 3-х и 4-х сторонние формы. Для

совмещения частей форм в них изготавливали отверстия, в которые вставляли штифты. Каменные формы использовали для литья техникой «навыплеск» (заливали в форму и через несколько секунд выливали незастывшую массу наружу), что позволяло получать облегченные пустотелые фигурки зверей, птиц. Такие литейные формы найдены в Волковыске, Гродно, Минске, Новогрудке, Полоцке (более 20), Турове и др. городах.

В бронзолитейном производстве с раннего железного века использовали глиняные тигли (рис.). Они имели форму конуса суженного в сторону дна и расширенного в верхней части. Высота 6–8 см, диаметр дна 2,5–3 см, венчика 4 – 4,7 см, толщина стенок 1–1,6 см. Археологами найдены целые тигли и их фрагменты в городищах 1-го тысячелетия н. э. и в городах (Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Минск, Орша, Полоцк, Слуцк, Туров).

Из бронзы, позже и из железа в первую очередь, отливали орудия производства (топоры, наконечники копьев и стрел, ножи, проколки) и украшения (пряжки, фибулы, подвески, браслеты, серьги, гривны).

Важным этапом в развитии металлургии и литейного производства на территории будущей Беларуси стал железный век (VII–VI вв. до н. э.). Он связан с началом добычи и использования железа. Быстрому его проникновению во все сферы быта (орудия труда, оружие, украшения) способствовало то, что оно не был привозным. Железо выплавляли из местного сырья, которое имеется здесь в изобилии – болотной или озерной руды (бурый железняк) в примитивных печах. Простейшие железоплавильные печи представляли собой обмазанные глиной земляные ямы, куда засыпали уголь и руду. После завершения выплавки печь разрушали, с нее доставали бесформенный железный ком – крицу, которую перековывали для удаления шлака и приобретения необходимых свойств. В V–VI вв. нашей эры расширение получают наземные глинобитные печи – домницы многоразового пользования. В процессе археологических исследований найдены почти целые печи-домницы. Домница – печь для восстановления железа непосредственно из железной руды и получения крицы. Их часто называют сыродутными, поскольку для достижения необходимого температурного режима в них подавался холодный воздух. Печь вмещала до 2 пудов руды, плавка продолжалась 8–12 часов. Сырьем для домниц служили болотная руда, древесный уголь и известь в качестве флюса. Железные руды представляют собой смесь оксидов железа. При нагревании болотной руды смешанной с древесным углем происходило восстановление железа с выделением оксида углерода. Присутствие извести или мела способствовало повышению пластичности крицы и отделению примесей

при последующей ковке. В некоторых случаях при необходимости получения чистого металла древние мастера закапывали заготовки в землю на несколько лет. Это способствовало дополнительному окислению примесей и их последующему удалению при ковке. В некоторых случаях заготовки переходили от отцов к сыновьям. Домница с городища Кимия (Борисовский район) представляла собой глинобитное сооружение. Ее диаметр до 0,9 м, высота до 0,7 м. Воздух подавался специальными мехами через глиняные трубки (сопла) обычно диаметром 5,5–6 см (диаметр канала – 2,2–2,5 см).

Древние мастера (середина 1-го тысячелетия до н. э.) обладали высокой квалификацией и в совершенстве владели приемами обработки железа. Практиковалась так называемая свободная ковка металла нагретого в горне до соответствующей температуры. Горновая сварка позволяла получать массивные заготовки путем соединения небольших прокованных криц «внахлест» и пакетированием сырья (сочетались операцииковки, соединения и сварки). В итоге получалась многополосная структура металла. В настоящее время такие материалы называют композитными, поскольку они обладают более высокими свойствами по сравнению с металлом, имеющим однородную (гомогенную) структуру. Изредка использовалась цементация (науглероживание) железа и стали. С помощью сварки изготавливали мечи, втулки топоров-кельтов, наконечники копий и др. Большинство изделий изготавливали из кричного железа или неравномерно науглероженной стали. В II–V вв. н. э. чаще использовали цементацию и закалку стальных изделий. В эпоху Киевской Руси обработка железа отмечена подъемом уровня обрабатываемой техники и технологии. Выросло производство цементованной и термообработанной стали. Кузнецы владели приемами соединения железа с углеродистой сталью. В X–XI вв. широко использовалась трехполосная технологическая схема изготовления комбинированных изделий оружия и предметов труда из железа и стали: к центральной стальной режущей пластине с обеих сторон приваривались железные пластины; на заключительном этапе обработки проводилась закалка изделия. В XII–XIII вв. с увеличением ассортимента кузнечной продукции менялась и технология ее производства: на железную основу лезвия наваривалась стальная рабочая часть, которую потом закаливали. С усложнением формы кузнечного инструмента увеличивалась производительность труда. Использование горнового паяния (припой – медь и ее сплавы) в сложных конструкциях существенно сокращало время изготовления продукции. Обработка железа усложнилась изготовлением узорчатого лезвия, украшением изделий насечкой, покрытием предметов защитными пленками из

цветных металлов и др. В позднефеодальный период начинается массовая выплавка чугуна. Используя зарубежный опыт и специалистов, в литейных мастерских Беларуси изготавливали пушки и снаряды, разные предметы домашнего употребления, детали машин и механизмов. Поверхность изделий и их режущие части обрабатывали шлифовально-абразивными кругами и брусками.

Древние белорусские кузнецы-оружейники внесли свой вклад в развитие конструкции и технологии изготовления оружия. Многие слышали выражения «булатная сталь», «дамасская сталь». Такие изделия производились в Индии, Иране, Закавказье, Сирии, Персии и ценились очень высоко, поскольку обладали одновременно высокой твердостью, прочностью и упругостью. Мечи мастеров-оружейников Беларуси относят к категории сварочных булатов. На лезвие средневековых мечей они размещали не твердую стальную, а мягкую полоску железа и только после нее делали твердое острие. Долго ученые металлурги не могли дать объяснения, зачем это делалось. Эту загадку удалось разгадать профессору из Владимирского политехнического института Г.П. Иванову. Значительно позже во время русско-японской войны по предложению адмирала Макарова С.О. на бронебойные снаряды насаживали мягкие колпачки. Таки снаряды насквозь прошивали самую прочную броню. Именно для того, чтобы пробивать стальные латы противника белорусские мастера нашивали мягкую полоску железа на очень твердое лезвие средневекового меча.

С XIV по XVIII в. для производства железа служили мелкие металлургические предприятия – рудни. Многие рудни имели сыродутные печи, кузнечные горны, кожаные (иногда деревянные) меха, большие (до 100 кг) механические молоты, наковальни, молотки, клещи, другую оснастку, ямы для выжигания угля. На территории Беларуси была развитая сеть таких предприятий. До настоящего времени термин «Рудня» в своих названиях сохранили более за 150 населенных пунктов. Особенно широко производство железа было развито на юго-востоке Беларуси – на Гомельщине, Могилевщине, Минщине.

На развитие литейного ремесла заметно повлияло расширение добычи и обработки железа за счет применения энергии воды для механизации наиболее трудоемких процессов: вдувание воздуха в печи, перековка крицы и др. Водяное колесо на руднях стали применять в Беларуси с XIV в. Рудни с водяными колесами размещались около рек, которые были источником энергии. Реку перегораживали плотиной. Возле нее возводили здание рудни, в котором были одна или несколько печей для выплавки железа, кузнечные горны, различное оборудование и оснастка. Водяные колеса приводили в движение меха для вдувания

воздуха и большие молоты для переработки крицы. Применение энергии воды позволило многократно увеличить производительность труда.

Выплавкой железа на руднях стали заниматься мастера различных специальностей: рудники (руководители производства), рудокопы (заготовители сырья), плакари (промывщики руды), курачи (выжигальщики угля), дымари (плавильщики). Разделение труда также способствовало усовершенствованию металлообрабатывающего ремесла.

Развитию железоделательного ремесла способствовал бурный рост городов и их относительная самостоятельность, что давало возможность налаживать широкую торговлю с соседними странами. Множество ремесленников работало при монастырях, замках, маентках, где концентрировались значительные художественные сокровища. Магнаты, заинтересованные в развитии ремесел, нередко давали мастерам определенные льготы. Закон Великого княжества Литовского «Устав на волоки» 1557 г. заинтересовывал проживание ремесленников при замках и дворах и запрещал использовать их на других работах. В 1596 г. король Жигимонт III Ваза издал указ, по которому ремесленники освобождались от замковой повинности, чтобы заниматься только своим ремеслом.

Значительное увеличение количества ремесленников вызвало необходимость в специализированных профессиональных объединениях. Уже в XV в. в Беларуси возникли первые такие объединения – цеха со своими уставами и привилегиями. На первое время цеха объединяли мастеров различных металлообрабатывающих или даже других специальностей. Так, в 1570 г. гродненский магистрат утвердил устав объединенного цеха кузнецов, котельщиков, мечников и слесарей. В Минске в конце XVI в. были два цеха – металлообработчиков и раскройщиков, причем первый объединял кузнецов, золотых дел мастеров, котельщиков, медников, часовщиков, мечников, ножовщиков, побрейцеров (мастера по изготовлению лошадиной сбруи), оружейников.

Образование и быстрый рост цехов оказали положительное влияние на развитие ремесленного производства и его характер. Цеха заботились о качестве продукции, подготовку мастеров, хорошо ориентировались в новейших достижениях производства и художественных стилях.

Для обучения ремеслу необходимо было пройти курс подготовки. Так, у минских кузнецов ученики должны были обучаться на протяжении трех лет. Примерно такой же срок указывался в уставах цехов и других городов. После курса обучения ученик переходил в разряд подмастерье, ему уже поручались некоторые несложные работы. Например, подмастерье гродненского цеха разрешалось прибить завесы к окнам и дверям, заточить железный кол, заточить мотыгу, серп, старый сошник,

косу, закалить топор и заточить его. Стать полноправным членом цеха можно было только после специального экзамена на мастерство – сделать «шедевр», «штуку» (художественное изделие). Претендент в члены минского цеха металлообработчиков должен был за один день отковать тесак, подкову и топор, слесарь – сделать два замка (для лавки и сундука), мечник – отковать меч строго определенных размеров и формы, отшлифовать его и выгравировать королевский и городской гербы. Ножовщику необходимо было изготовить тесак, 13 ножей и сундучок. От каждого мастера требовались высокое качество работы, использование хорошего сырья. Иначе на него налагали штраф, а после второго штрафа исключали из цеха. Уставы практически всех цехов включали статьи, что ремесленник, который не входил в цех (портач), не имел права заниматься ремеслом.

На протяжении многих столетий на территории Беларуси металлургия железа осуществлялась прямым восстановлением из руды. С возникновением металлургических заводов в конце XVIII в. в маентке Руда под Брестом (Малоритский район) и в Вишневе (Воложинский район) стал широко применяться двухстадийный метод: выплавка чугуна в доменной печи, а затем переработка его в пудлинговых печах (фришерках) в железо и сталь.

В средние века литьем изготавливали изделия широкой номенклатуры бытового и культового назначения. На основании многочисленных находок литейных форм, разнообразных инструментов, заготовленного сырья, слитков, монет можно сделать вывод, что производством таких изделий занимались местные мастера в древних Полоцке, Витебске, Лукомле, Друцке, Волковыске, Турове. Они широко использовали зернение, гравировку, скань, эмалирование, чернение, литье, чеканку – те виды обработки металлов и техники исполнения декора, которые требовали высокого мастерства, глубокого знания технологии.

1 ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК

Классификация литых заготовок. По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

– общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность

– ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;

– особо ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. Типовые детали – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентиляей и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. Типовые детали – станины специальных МРС, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

1.1 Литейные сплавы

Требования к материалам, используемым для получения отливок:

Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо

свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Литейные свойства сплавов. Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть.

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки.

Различают объемную и линейную усадку.

В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться

газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и дендритную, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Из серого чугуна получают самые дешевые отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

Сталь как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответственнее машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40...50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 тонн, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковок.

Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

1. Медные сплавы – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры для морских судостроения, работающей при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станков, червячных винтов применяют сложнелегированные латуни. Обладают хорошей

износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из оловянных бронз (BrO3Ц7С5Н1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже. Применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов, деталей химической и пищевой промышленности.

2. Алюминиевые сплавы.

Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (Al-Si) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности.

Также используются сплавы систем: алюминий – медь, алюминий – медь – кремний, алюминий – магний.

3. Магниевого сплавы обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Способы изготовления отливок. Изготовление отливок в песчаных формах.

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одноразового использования, так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах представлена на рисунке 7.

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые

изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы.

Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9.

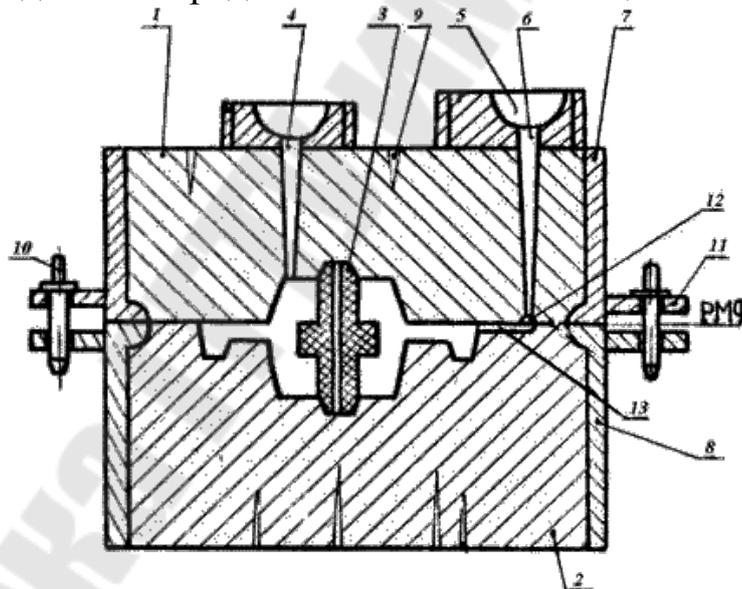


Рисунок 7 - Литейная форма.

Разновидности литниковых систем представлены на рисунке 8. Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания отливки.

Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака.

Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

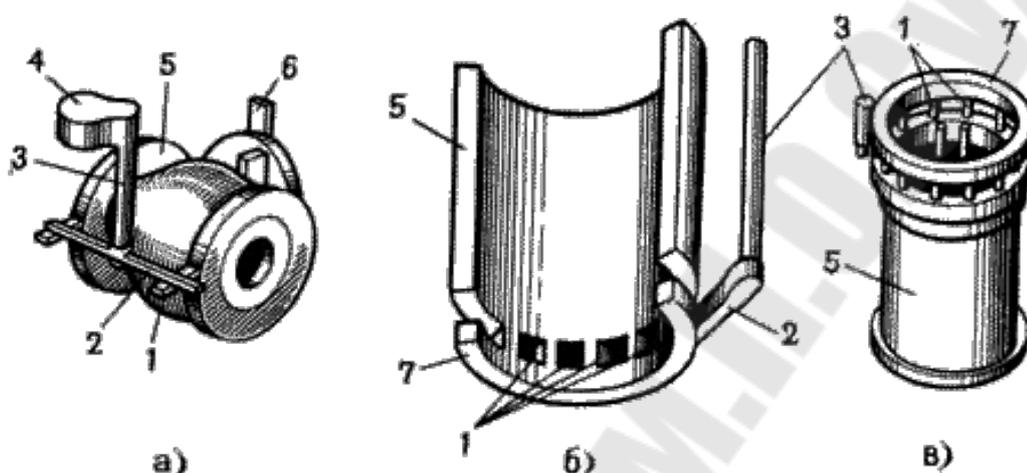


Рисунок 8 - Разновидности литниковых систем

Боковая литниковая система (рисунок 8а).

Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки (по разьему формы).

Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разьема формы. Является промежуточной между верхней и нижней, и следовательно сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

1.2 Машинная формовка

Используется в массовом и серийном производстве, а также для мелких серий и отдельных отливок.

Повышается производительность труда, улучшается качество форм и отливок, снижается брак, облегчаются условия работы.

По характеру уплотнения различают машины: прессовые, встряхивающие и другие.

Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров формы моделей, степени и равномерности уплотнения и других условий.

В машинах с верхним уплотнением (рис. 5.5.а) уплотняющее давление действует сверху. Используют дополнительную рамку.

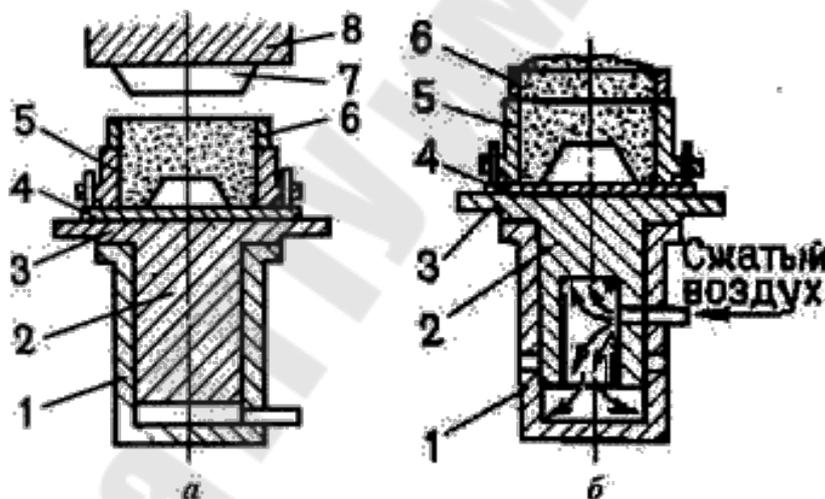
При подаче сжатого воздуха в нижнюю часть цилиндра 1 прессовый поршень 2, стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 с моделью поднимается. Прессовая колодка 7, закрепленная на траверсе 8 входит в

наполнительную рамку 6 и уплотняет формовочную смесь в опоке 5. После прессования стол с модельной оснасткой опускают в исходное положение.

У машин с нижним прессованием формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой.

Уплотнение встряхиванием происходит в результате многократно повторяющихся встряхиваний (рисунок 9б).

Под действием сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю часть цилиндра 1, встряхивающий поршень 2 и стол с закрепленной на нем модельной плитой 4 с моделью поднимается на 30...100 мм до выпускного отверстия, затем падает. Формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 уплотняется в результате появления инерционных сил. Способ характеризуется неравномерностью уплотнения, уплотнение верхних слоев достигается допрессовкой.



а – прессованием; б - встряхиванием

Рисунок 9 - Схемы способов уплотнения литейных форм при машинной формовке

1.3 Вакуумная формовка

Модельная плита имеет вакуумную полость. В модели имеются сквозные отверстия диаметром 0,5...1 мм, совпадающие с отверстиями в плите. Модельную плиту с моделью закрывают нагретой полимерной пленкой. В воздушной коробке насосами создается вакуум 40...50 кПа. Затем устанавливается опока с сухим кварцевым песком, который уплотняется с помощью вибраций.

На верхнюю поверхность помещают разогретую пленку, плотно прилегающую к опоке. Полуформу снимают с модели. При заливке металла пленка сгорает, образуя противопригарное покрытие.

Уплотнение песком осуществляется рабочим органом

пескомета – метательной головкой. Формовочная смесь подается в головку непрерывно. Пескомет обеспечивает засыпку смеси и ее уплотнение. При вращении ковша (1000...1500 мин⁻¹) формовочная смесь выбрасывается в опоку со скоростью 30...60 м/с. Метательная головка может перемещаться над опокой. Пескомет – высокопроизводительная формовочная машина, его применяют при изготовлении крупных отливок в опоках и кессонах.

1.4 Специальные способы литья.

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие.

Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Литье в оболочковые формы. Литье в оболочковые формы – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением термореактивных связующих материалов.

Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рисунке 10.

Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до 200...250 °С.

Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рисунок 10 а) и поворачивают на 180 ° (рисунок 10б). Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, термореактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение (рисунок 10в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рисунок 10г). Аналогичным образом

получают вторую полуформу.

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб).

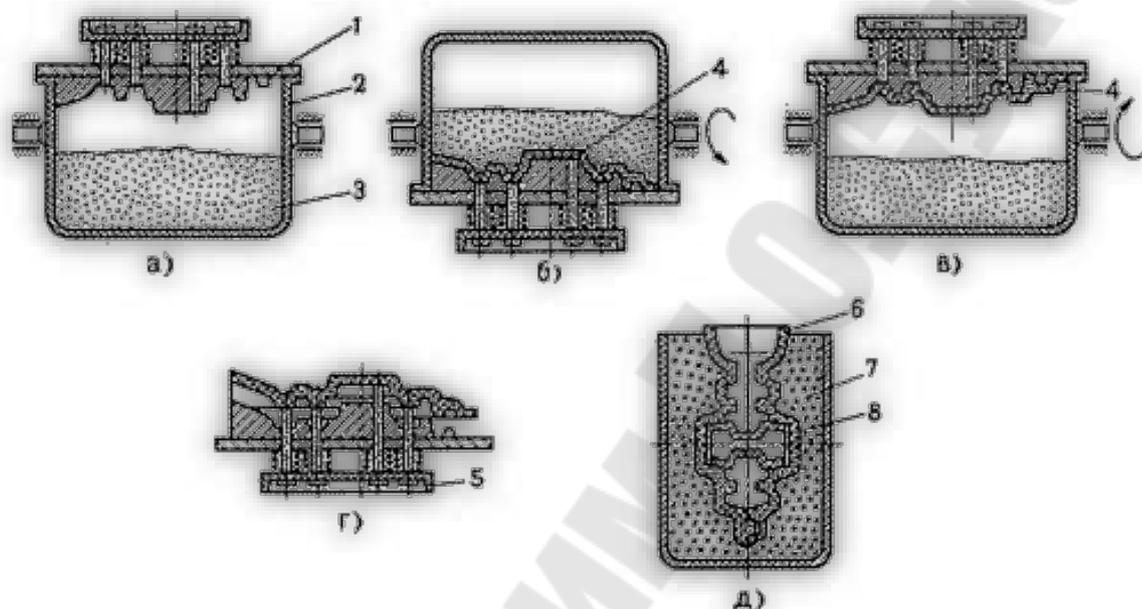


Рисунок 10 - Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы.

Литье в металлические формы. Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Схема получения отливок в кокиле представлена на рисунке 11.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до 150...180С покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 6.3.а) толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел,

графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

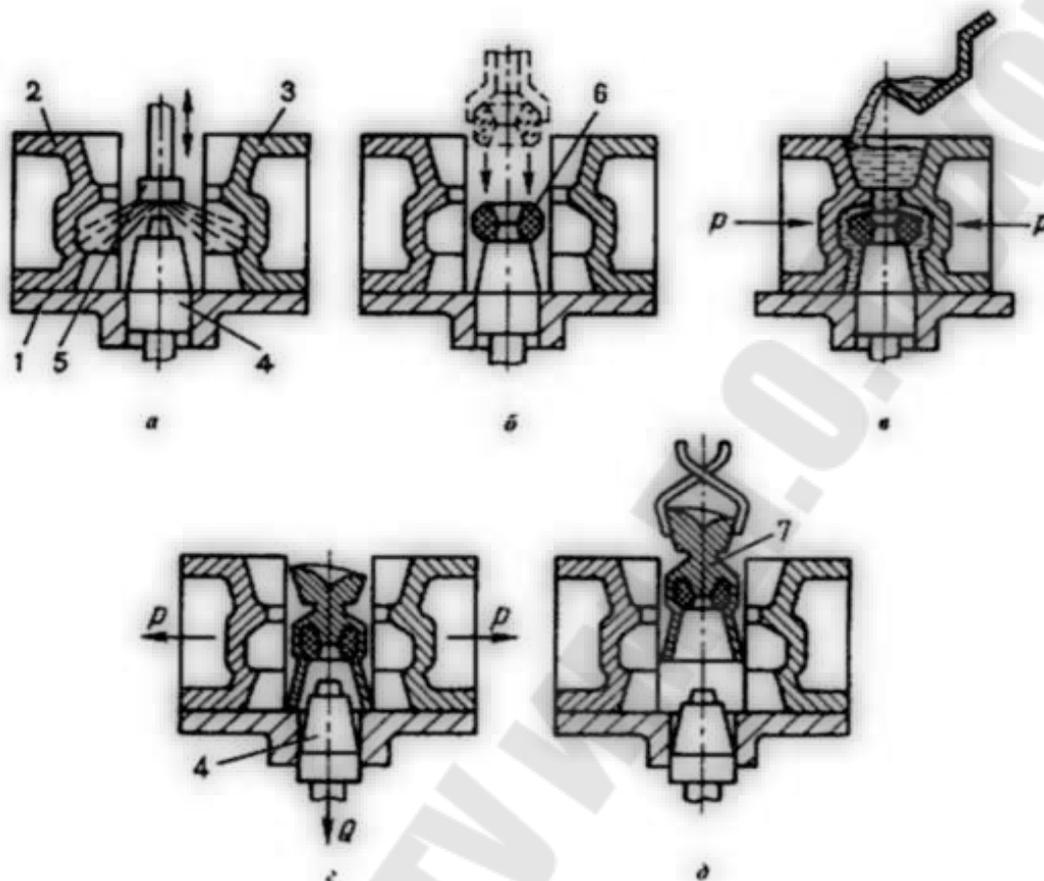


Рисунок 11 - Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рисунок 11б).

Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рисунок 11в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рисунок 11г) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется манипулятором из кокиля (рисунок 11д).

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и

многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

Изготовление отливок центробежным литьем. При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом.

На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С.

Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на рисунок 12.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис.) металл из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца,

подшипники качения, бандажи железнодорожных и трамвайных вагонов).

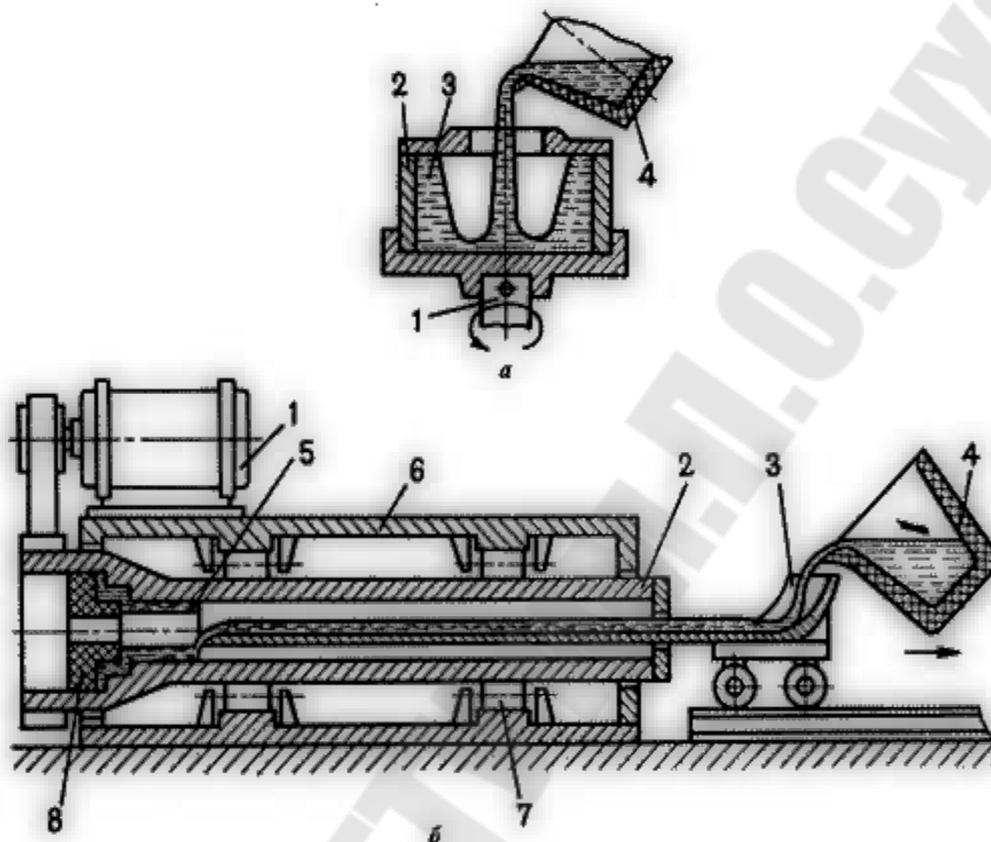


Рисунок 12 - Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Используют автоматические и многопозиционные карусельные машины с управлением от ЭВМ.

Литье под давлением.

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением.

Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рисунок 13) расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рисунок 13а). Затем металл плунжером 5, под давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рисунок 13б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рисунок 13в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

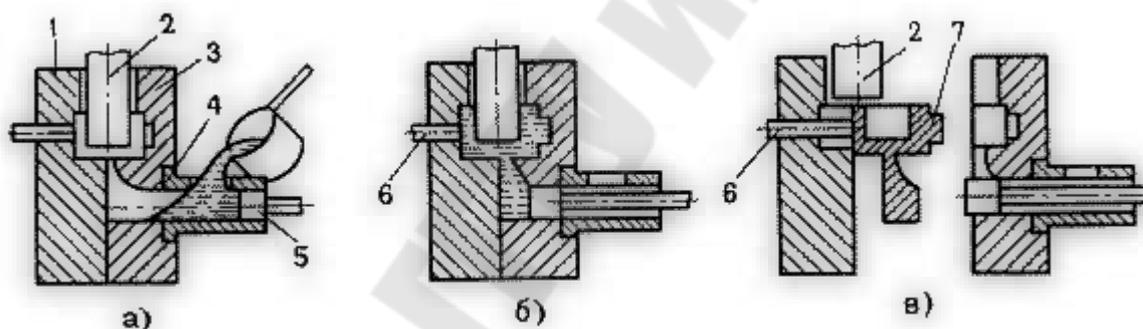


Рисунок 13 - Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования.

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...320 0С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

1.5 Изготовление отливок электрошлаковым литьем.

Сущность процесса электрошлакового литья заключается в переплаве расходуемого электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе).

При этом операции расплавления металла, его заливка и выдержка

отливки в форме совмещены по месту и времени.

Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем представлена на рисунок 14.

В качестве расходуемого электрода используется прокат. В кристаллизатор 6 заливают расплавленный шлак 4 (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электросопротивлением. При пропускании тока через электрод 7 и затравку 1 выделяется значительное количество теплоты, и шлаковая ванна нагревается до 1700 °С, происходит оплавление электрода. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 3. Она в водоохлаждаемой форме затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов отливку 2. Внутренняя полость образуется металлической вставкой 5.

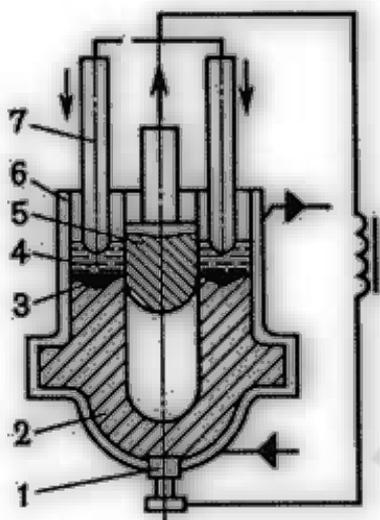


Рисунок 14 - Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем.

Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Изготавливаются отливки ответственного назначения массой до 300 тонн: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых двигателей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, ротора турбогенераторов.

Изготовление отливок непрерывным литьем.

При непрерывном литье (рис. 7.4) расплавленный металл из металлоприемника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3 и затвердевает в виде отливки 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины.

Используют при получении отливок с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не

имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

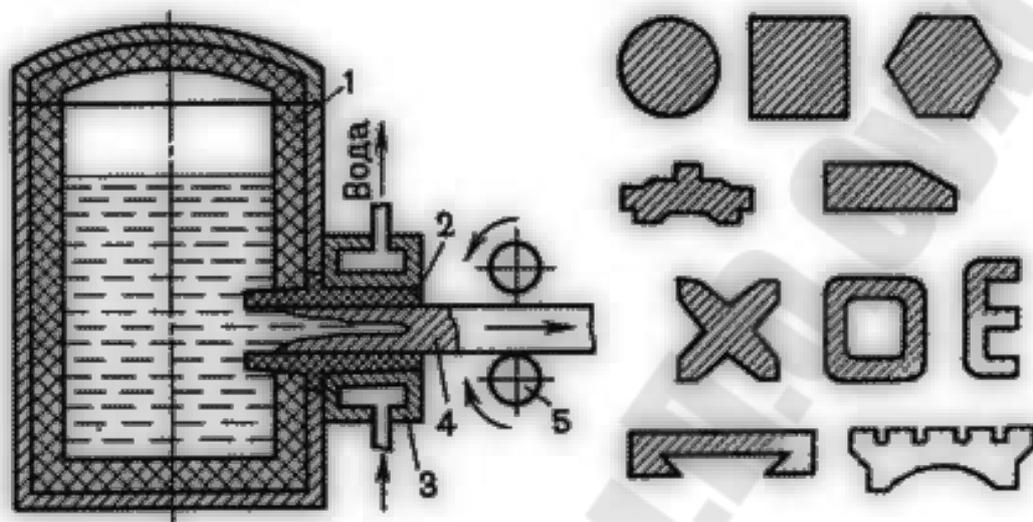


Рисунок 15 - Схема непрерывного литья (а) и разновидности получаемых отливок (б).

Особенности изготовления отливок из различных сплавов.

Чугун. Преобладающее количество отливок из серого чугуна изготавливают в песчаных формах. Отливки получают, как правило, получают без применения прибылей.

При изготовлении отливок из серого чугуна в кокилях, в связи с повышенной скоростью охлаждения при затвердевании, начинает выделяться цементит – появление отбеливания. Для предупреждения отбела на рабочую поверхность кокиля наносят малотеплопроводные покрытия. Кокили перед работой их нагревают, а чугун подвергают модифицированию. Для устранения отбела отливки подвергают отжигу.

Отливки типа тел вращения (трубы, гильзы, втулки) получают центробежным литьем.

Отливки из высокопрочного чугуна преимущественно изготавливают в песчаных формах, в оболочковых формах, литьем в кокиль, центробежным литьем. Достаточно высокая усадка чугуна вызывает необходимость создания условий направленного затвердевания отливок для предупреждения образования усадочных дефектов в массивных частях отливки путем установки прибылей и использования холодильников.

Расплавленный чугун в полость формы подводят через сужающуюся литниковую систему и, как правило, через прибыль.

Особенностью получения отливок из ковкого чугуна является то, что исходный материал – белый чугун имеет пониженную

жидкотекучесть, что требует повышенной температуры заливки при изготовлении тонкостенных отливок. Для сокращения продолжительности отжига чугуна модифицируют алюминием, бором, висмутом. Отливки изготавливают в песчаных формах, а также в оболочковых формах и кокилях.

Стальные отливки. Углеродистые и легированные стали – 15Л, 12Х18Н9ТЛ, 30ХГСЛ, 10Х13Л, 110Г13Л – литейные стали.

Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку до 2,5%, склонны к образованию трещин.

Стальные отливки изготавливают в песчаных и оболочковых формах, литьем по выплавляемым моделям, центробежным литьем.

Для предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках на массивные части устанавливают прибыли, а в тепловых узлах – используют наружные или внутренние холодильники. Для предупреждения трещин формы изготавливают из податливых формовочных смесей, в отливках предусматривают технологические ребра.

Подачу расплавленного металла для мелких и средних отливок выполняют по разьему или сверху, а для массивных – сифоном. В связи с низкой жидкотекучестью площадь сечения питателей в 1,5...2 раза больше, чем при литье чугуна.

Для получения высоких механических свойств, стальные отливки подвергают отжигу, нормализации и другим видам термической обработки.

Алюминиевые сплавы. Основные литейные сплавы – сплавы системы алюминий – кремний (силумины)

Силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9) имеют высокую жидкотекучесть, малую усадку (0,8...1%), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что по химическому составу близки к эвтектическим сплавам (интервал кристаллизации составляет 10...30 0С).

Остальные алюминиевые сплавы имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль, под давлением, в песчаные формы.

Используют кокили с вертикальным разъемом. Для получения плотных отливок устанавливаются массивные прибыли. Металл подводят через расширяющиеся литниковые системы с нижним подводом металла к тонким сечениям отливки. Все элементы литниковой системы размещают в плоскости разьема кокиля.

Медные сплавы. Бронзы (БрО5Ц5С5, БрАЖЗЛ) и латуни (ЛЦ40Мц3А).

Все медные сплавы склонны к образованию трещин. Отливки изготавливаются литьем в песчаные и оболочковые формы, а также литьем в кокиль, под давлением, центробежным.

Для предупреждения образования усадочных раковин и пористости в массивных узлах отливок устанавливают прибыли. Для предупреждения появления трещин в отливках используют форму с высокой податливостью.

Для плавного поступления металла применяют расширяющиеся литниковые системы с верхним, нижним и боковым подводом. Для отделения оксидных пленок в литниковой системе устанавливают фильтры из стеклоткани.

Титановые сплавы. Имеют высокую химическую активность в расплавленном состоянии. Они активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и углеродом. Плавку этих сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

Основной способ производства титановых отливок – литье в графитовые формы, в оболочковые формы из нейтральных оксидов магния, циркония. При изготовлении сложных тонкостенных отливок применяют формы, полученные по выплавляемым моделям.

1.6 Дефекты отливок и их исправление.

Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

Перекося – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установке стержня.

Недолив – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучести, недостаточным сечением элементов литниковой системы.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением.

Возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, заливки перегретым металлом, неправильная установка прибылей.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которая возникает из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного

металла газами.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы, неправильной конструкции отливок, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.

Методы обнаружения дефектов

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки.

Внутренние дефекты определяют радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгенография, гаммаграфия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки при встрече с границей дефекта (трещиной, раковиной) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефекта.

Трещины выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Методы исправления дефектов. Незначительные дефекты исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

Заделка замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают. После заполнения исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание применяют для устранения пористости. Отливки на 8...12 часов погружают в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющий поры отливок.

Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава.

Печи для плавки чугуна. Большая часть чугуна – примерно 70-

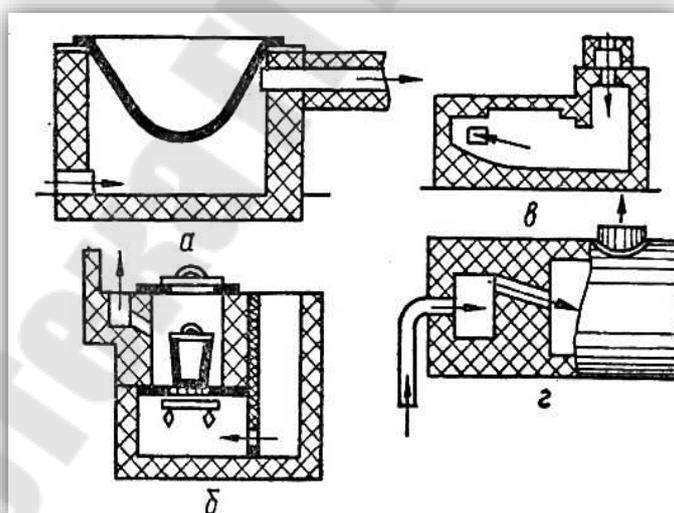
90 % общего объема производства – плавится в вагранках, которые характеризуются простотой конструкции и высокой удельной производительностью.

Кроме вагранок, для плавки чугуна применяются электрические дуговые и индукционные печи, иногда пламенные стационарные или наклоняющиеся печи. В ряде случаев применяется комбинированный способ плавки чугуна: вагранка – пламенная печь, вагранка – электрическая (индукционная или дуговая) печь, дуговая электропечь – индукционная печь и др. Этот способ плавки называется дуплекс-процессом. Вагранка при этом применяется в качестве дешевого плавильного агрегата, а последующая печь служит для перегрева, легирования, дегазации и получения чугуна с точно заданным химическим составом и улучшенными свойствами.

Печи для плавки цветных сплавов. Для плавки цветных сплавов применяются:

а) печи камерные, барабанные и тигельные, отапливаемые твердым, жидким или газообразным топливом (рисунок 17)

б) электрические печи, которые отличаются по способу передачи энергии: дуговые с прямым и косвенным нагревом, сопротивления (тигельные и камерные), индукционные (тигельные и каналные), электронно-лучевые, плазменные (рисунок 18).



а – котловая; б – тигельная; в – пламенная камерная; г – пламенная барабанная.

Рисунок 16 - Топливные печи для плавки сплавов цветных металлов.

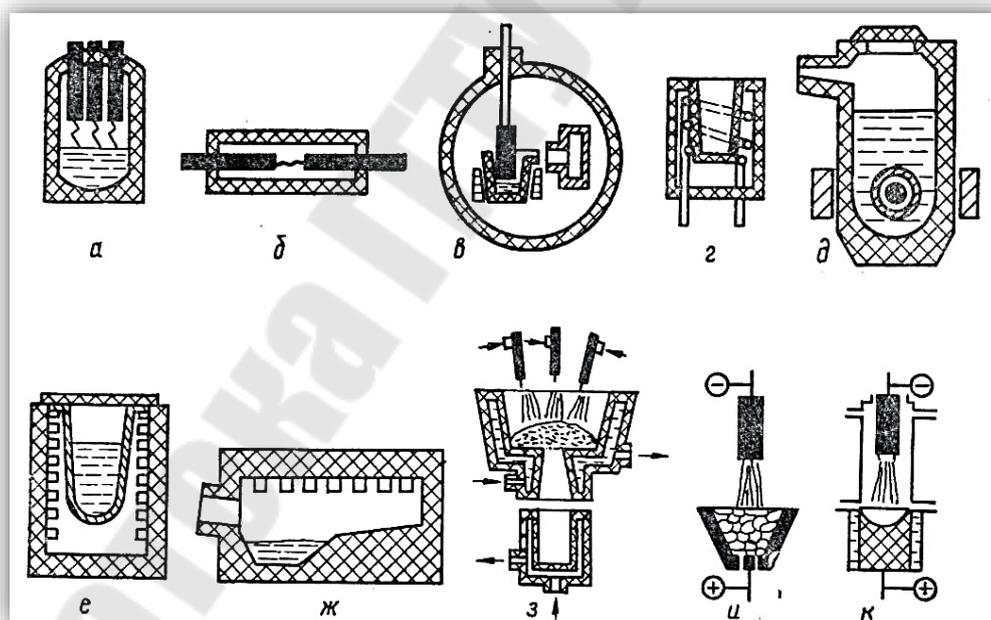
В камерных и барабанных печах можно плавить все типы цветных сплавов, кроме магниевых, титановых и никелевых. Магниевые и

титановые сплавы легко окисляются под воздействием пламени, а никелевые являются слишком тугоплавкими для такого типа печей. Окисление сплавов ограничено при плавке в тигельных печах, поэтому в них можно плавить все виды цветных сплавов, кроме тугоплавких.

Электрические печи в современных цветнолитейных цехах получили широкое распространение. По сравнению с плазменными они характеризуются более высоким к. п. д., повышенным качеством получаемого сплава, минимальными потерями металла на угар, хорошими санитарно-гигиеническими условиями труда.

Дуговые трехфазные печи с прямым нагревом используют для плавки никелевых сплавов; дуговые печи с косвенным нагревом – для плавки медных сплавов. Дуговые вакуумные гарнисажные печи с расходуемым электродом применяют для плавки титановых сплавов. Широко применяются индукционные печи без железного сердечника (практически для всех сплавов, кроме магниевых) и каналные печи с железным сердечником (для латуней и алюминиевых сплавов).

Электрические печи сопротивления пригодны для плавки легкоплавких сплавов (алюминиевых, цинковых), а электронно-лучевые



а – дуговая трехфазная с прямым нагревом; б – дуговая однофазная с косвенным нагревом; в – дуговая вакуумная гарнисажная с расходуемым электродом; г – индукционная тигельная, д – индукционная каналная; е – тигельная сопротивления; ж – камерная сопротивления; з – электронно-лучевая; и, к – плазменные.

Рисунок 17 - Электрические печи для плавки сплавов цветных металлов

и плазменные применяют для плавки тугоплавких металлов.

Футеровка плавильных печей. Футеровка плавильных печей должна быть изготовлена из материала, который способен выдерживать эксплуатационные температуры и их колебания при плавке, противостоять химическому и механическому воздействиям металла и шлака и имеет приемлемые экономические характеристики. Наиболее высокие требования предъявляются к футеровке сталеплавильных печей.

По своей химической природе футеровка может быть: кислой (динас), нейтральной (шамот, хромит), основной (магнезит, хромомагнезит).

При плавке стали и чугуна металлургический процесс в целом зависит от вида футеровки печи. При кислой футеровке печи шлак также должен быть кислым (в противном случае шлак химически взаимодействует с футеровкой), и такой металлургический процесс называют кислым. При применении основной футеровки печи необходимо работать со шлаком также основного характера, и соответствующий металлургический процесс называют основным.

От способа ведения плавки (кислым или основным шлаком) зависит характер протекающих металлургических реакций. Так, при кислом способе плавки (кислый шлак) из расплава железа нельзя удалить фосфор и серу, которые ухудшают механические и физические свойства стали. Поэтому для плавки необходимо применять шихтовые материалы с очень низким содержанием этих элементов. При основном способе плавки указанные элементы из расплава можно легко удалить, поэтому к шихтовым материалам не предъявляются столь высокие требования по ограничению содержания фосфора и серы.

Вагранки (рисунок 19) просты по конструкции, имеют высокий КПД и удобны в эксплуатации.

Устройство ваграночной печи. Вагранка представляет собой шахтную печь, диаметр которой колеблется в пределах 700—2300 мм, а производительность 4-50 т/ч. По конструктивным особенностям вагранки делят на два типа: с копильником и без него. Первые применяют при производстве крупных отливок, когда необходимо накопить большое количество расплава, а вторые — при получении мелких и средних отливок с небольшой толщиной стенок, когда требуется расплав, обладающий более высокой жидкотекучестью.

Также вагранки разделяют по видам используемого топлива на коксовые, коксогазовые и газовые. Преимущество коксовых вагранок в использовании дешевой шихты с относительно низким содержанием кремния и марганца, низкая окислительная способность атмосферы внутри печи, а также возможность стабильной работы без подогрева

воздуха в воздухоподогревателях.

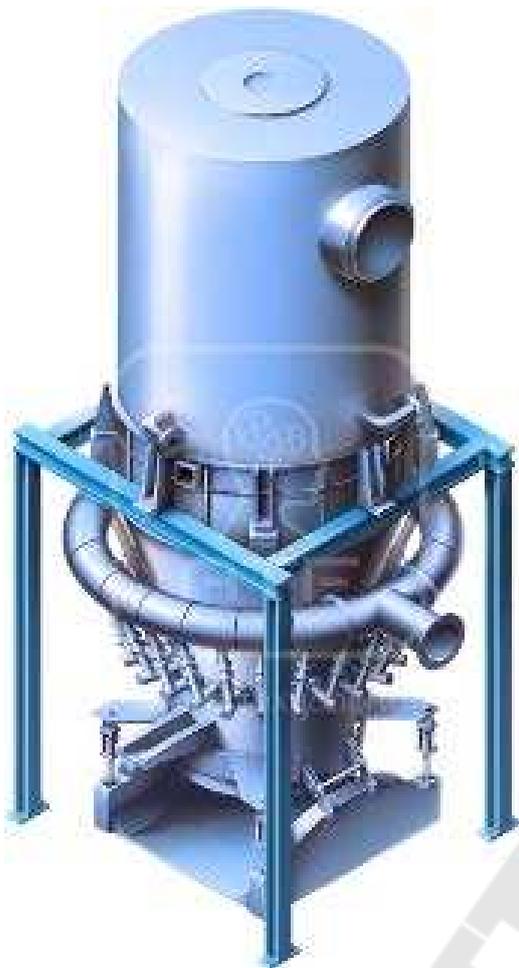


Рисунок 18 - Ваграночная печь.

Преимущество газовых вагранок в использовании газообразного топлива – более дешевого по сравнению с коксом. Принято считать, что наиболее низкая себестоимость плавки чугуна в коксогазовых вагранках

На рисунке 20 представлено устройство современной вагранки простейшего типа. Вагранка состоит из железного кожуха, имеющего огнеупорную футеровку из фасонного кирпича. Опорой для вагранки служат колонны 1, на последних укреплено чугунное кольцо; днище вагранки делается откидным. Верхняя часть вагранки 2 называется колошником, в ней устраивается загрузочное окно 3; загрузка идет с колошниковой площадки 4; часть 5 называется шахтой, в нижней части ее расположены воздуходувные отверстия (фурмы) 6; воздух к фурмам подводится через фурменное кольцо 7, а к последнему — через трубу 8. За ходом плавки наблюдают через смотровое окно 9; нижняя зона вагранки 10 называется горном, в котором устроено рабочее окно 11. Для выпуска металла служит очко и желоб 12, а для выпуска шлака — отверстие 13.

В настоящее время применяется несколько типов вагранок, но их устройство в основном подобно описанному.

По высоте вагранки по ходу движения шихты выделяют от 3 до 5 зон. Рассмотрим 5-зонную схему (рисунок 21):

1-я зона – шахта вагранки, в которой твердая шихта опускается и нагревается движущимися навстречу газам;

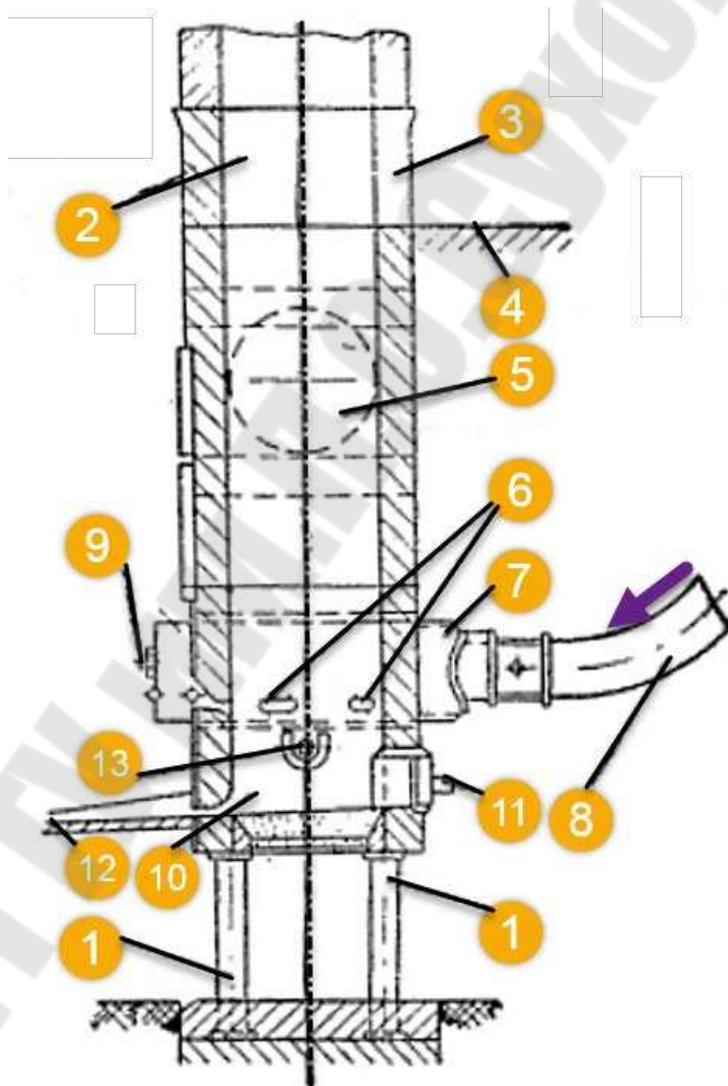
2-я зона – зона плавления;

3-я зона – редуционная (отводящая) зона холостой колоши (понятие о холостой колоше – ниже), в которой протекает эндотермическая реакция: $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ и температура газов в которой по ходу металла увеличивается от температуры, достаточной для плавления шихты до максимального значения;

4-я зона – кислородная зона холостой колоши, внутри которой металл перегревается и достигает своего температурного максимума;

1 – колонны; 2 – колошник; 3 – загрузочное окно; 4 – колошниковая площадка; 5 – шахта; 6 – фурмы; 7 – фурменное кольцо; 8 – труба; 9 – смотровое окно; 10 – горн; 11 – рабочее окно; 12 – желоб; 13 – отверстие для выпуска шлама.

Рисунок 19 - Устройство вагранки.

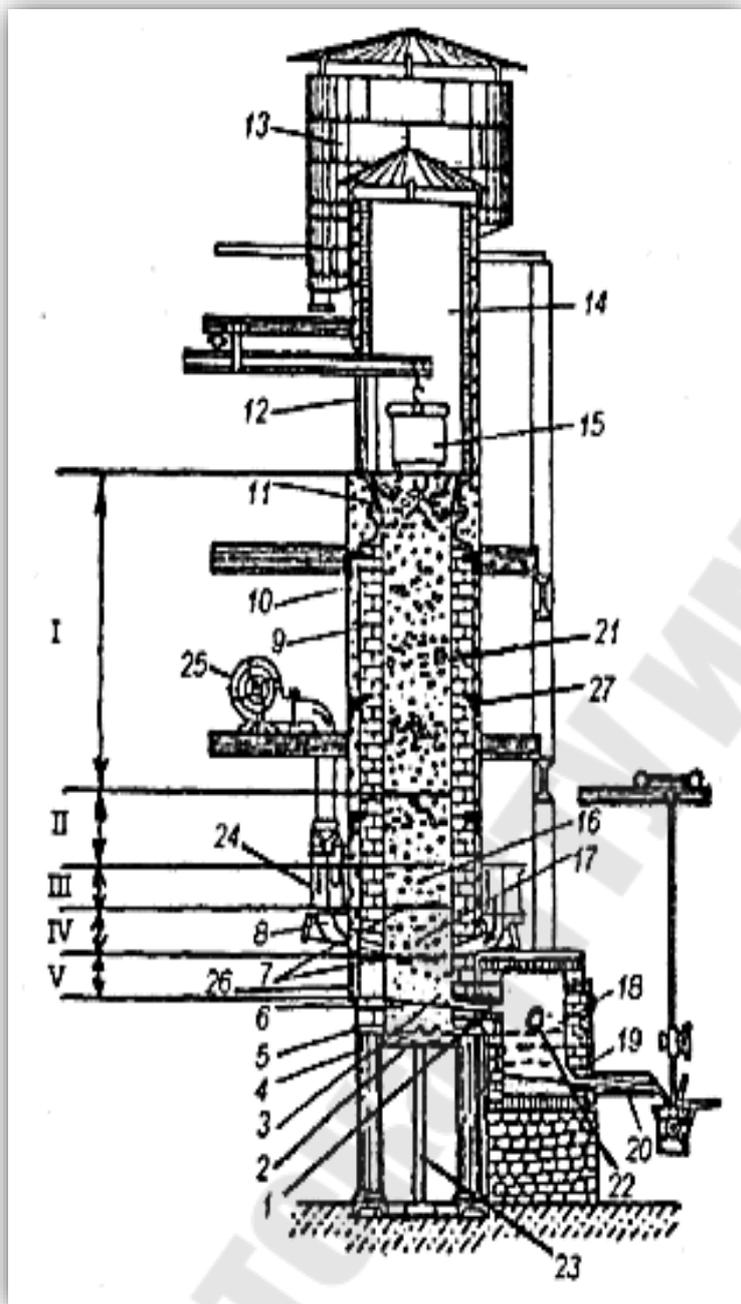


Технологический процесс плавки чугуна в ваграночной печи

Для получения качественного чугуна для заливки форм, начиная с первого выпуска, должна быть проведена тщательная подготовка вагранки к плавке: проверено ее состояние перед плавкой (качество проведенного текущего ремонта, размеры фурм, диаметр шахты, качество набивки подины печи, высота горна, правильность розжига колоши и ее высота); подготовлен инструмент и все необходимые материалы, а также проверена работоспособность всех приборов и устройств, контролирующих ход ваграночной плавки.

На рисунке 22 представлена принципиальная схема плавки чугуна в вагранке.

5-я зона – горн вагранки, в котором скапливается расплавленный металл и температура газов примерно равна температуре металла.



1 – летка; 2 – дверцы днища; 3 – горн; 4 – колонны; 5 – подовая плита; 6 – лещадь; 7 – фурмы; 8 – фурменная труба; 9 – кирпичная кладка; 10 – кожух; 11 – чугунные кирпичи; 12 – загрузочное окно; 13 – искроуловитель; 14 – дымовая труба; 15 – бадья; 16 – металлическая шихта; 17 – коксовая холостая колоша; 18 – копильник; 19 – летка для расплава; 20 – желоб; 21 – шахта; 22 – летка для шлаков; 23 – стойка; 24 – фурменная коробка; 25 – вентилятор; 26 – ремонтное окно; 27 – угольник; I – V зоны вагранки
 Рисунок 20 - Схема устройства вагранки открытого типа с копильником.

Рассмотрим более подробно принцип работы вагранки на примере вагранки открытого типа с копильником (рисунок 22). Через загрузочное окно с колошниковой площадки посредством загрузочных бадей (колош) в шахту печи засыпается шихта, включающая доменный чугун, чугунный и стальной лом, чугунную и стальную стружку, собственный возврат литейного цеха (литники и т.п.), флюсы (плавиковый шпат – CaF_2 , известняк – CaCO_3 , известь – CaO , основной мартеновский шлак, а также железную руду – для удаления фосфора) и кокс. Шихта подается

порциями – колошами. В самом начале работы вагранки на подину загружают так называемую холостую колошу, состоящую из крупных (около 100 мм) кусков кокса.

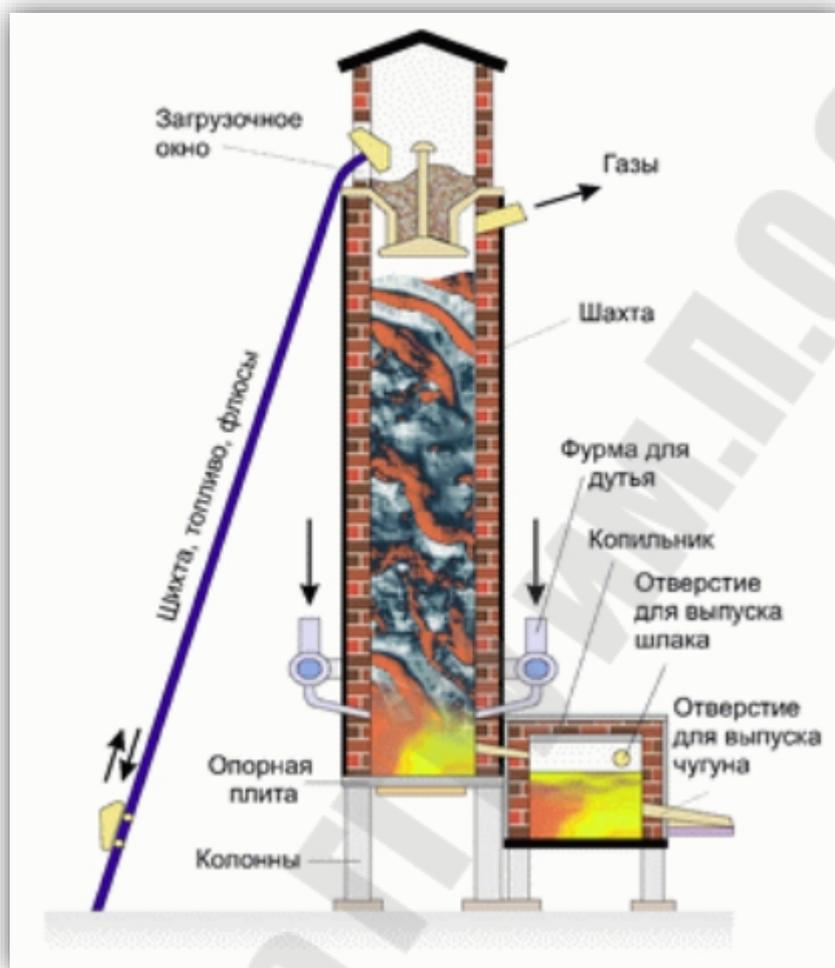


Рисунок 21 - Принцип работы ваграночной печи.

Верхний уровень колоши должен быть на 0,5-0,7 м выше уровня фурм. Назначение холостой колоши заключается в том, чтобы дать необходимое для начала плавки тепло, а также служить опорой для лежащего на ней слоя плавящегося чугуна и флюсов. В зависимости от того, как разогревается холостая колоша, пройдет первый период плавки.

С помощью дров или природного газа кокс зажигают. В дальнейшем разогрев слоя кокса до 1400-1500°C осуществляется продувкой его воздухом через фурмы. На слой раскаленного кокса загружают первую металлическую колошу, а на нее – первую рабочую колошу кокса. Затем тем же порядком: металл-кокс загружается несколько колош до уровня загрузочного окна. Флюс обычно загружается вместе с металлом.

По окончании загрузки шихты включается на рабочий режим

дутьевой вентилятор, подающий воздух на фурмы. При горении кокса холостой колоши выделяется большое количество горячих газов с высокой температурой (около 1600-1750°C). Температура плавления стальной части шихты в зависимости от содержания углерода составляет 1400-1500°C, тогда как температура плавления чугуна при медленном нагреве близка к 1150°C. Капли металла стекают по кускам раскаленного кокса и нагреваются в общей своей массе до температуры примерно 1500°C.

Стекающий на подину металл вместе с образовавшимся шлаком через соединительную (переходную) лётку поступает в копильник. Для обработки жидкого чугуна в копильнике возможна добавка к металлу ферросплавов, раскислителей и модификаторов, а также возможна продувка чугуна кислородом для повышения температуры металла или изменения химического состава. *Модификаторы* – вещества, которые в малом количестве способствуют кристаллизации структурных составляющих в измельченной форме, что улучшает механические свойства металла. В вагранке модификаторами могут быть ферросилиций, силикокальций, алюминий и магний. Когда копильник будет достаточно заполнен, выпускают шлак через шлаковую лётку. После спуска шлака металл выпускают через металлическую (чугунную) лётку.

Недостаток схемы вагранки с использованием копильника связан с большими потерями в нем теплоты металла, в результате чего в копильнике температура металла может понизиться на 70-80°C с 1450-1500°C до 1370-1420°C. Для компенсации снижения температуры металла копильники иногда делают обогреваемыми посредством установки горелок со сжиганием дополнительного газообразного топлива. Поэтому в тех случаях, когда не надо накапливать металл для крупных отливок, например, в мелкосерийном производстве мелких отливок применяют схему непосредственного разлива чугуна из вагранки без копильника.

Во время расплавления металлической колоши часть кокса холостой колоши сгорает. Количество кокса, подаваемого в шахту с рабочей коксовой колошей должно быть таким, чтобы компенсировать сгоревший кокс. В этом случае плавка металла всегда будет на одном и том же горизонте, что обеспечит стабильность работы вагранки.

Ваграночные газы, образовавшиеся при сжигании кокса проходят через слой шихты и постепенно охлаждаются от 1500-1600°C до 300-600°C. Теплота сгорания ваграночного газа очень низкая: 1-2 МДж/м³.

Важным условием высокопроизводительной работы вагранки при длительном периоде работы является обеспечение условий для

равномерного проникания газов в слое шихты по сечению шахты. В цилиндрической шахте газы поднимаются преимущественно вдоль стен, поэтому футеровка перегревается, а металл приходит по центру сечения в зону плавления недогретым. Чем больше диаметр цилиндрической шахты, тем ярче проявляется этот негативный эффект. Иногда для повышения производительности, повышения температуры чугуна и для снижения расхода кокса применяется подогрев воздуха горения в отдельном расположенном воздухонагревателе, имеющем самостоятельное отопление.



Рисунок 22 – Лаболатронная вагранка

Футеровка плавильных печей. Футеровка плавильных печей должна быть изготовлена из материала, который способен выдерживать эксплуатационные температуры и их колебания при плавке, противостоять химическому и механическому воздействиям металла и шлака и имеет приемлемые экономические характеристики. Наиболее высокие требования предъявляются к футеровке сталеплавильных печей.

По своей химической природе футеровка может быть: кислой (диас), нейтральной (шамот, хромит), основной (магнезит, хромомагнезит).

При плавке стали и чугуна металлургический процесс в целом зависит от вида футеровки печи. При кислой футеровке печи шлак также должен быть кислым (в противном случае шлак химически взаимодействует с футеровкой), и такой металлургический процесс называют кислым. При применении основной футеровки печи

необходимо работать со шлаком также основного характера, и соответствующий металлургический процесс называют основным.

От способа ведения плавки (кислым или основным шлаком) зависит характер протекающих металлургических реакций. Так, при кислом способе плавки (кислый шлак) из расплава железа нельзя удалить фосфор и серу, которые ухудшают механические и физические свойства стали. Поэтому для плавки необходимо применять шихтовые материалы с очень низким содержанием этих элементов. При основном способе плавки указанные элементы из расплава можно легко удалить, поэтому к шихтовым материалам не предъявляются столь высокие требования по ограничению содержания фосфора и серы.

Физико-химические процессы при плавке стали. Целью плавильного процесса является получение металла заданного химического состава с минимальным содержанием газов и включений, так как, в частности, газы, растворенные в металле, существенно снижают механические свойства отливок и во многих случаях являются причиной брака.



Рисунок 23 - Корпус вагранки в процессе монтажа.

На качество выплавленного металла влияют качество шихты, тип плавильного агрегата, в котором производится плавка, и технология плавки. Так, например, при плавке стали в электрических дуговых или

мартеновских печах можно и из низкосортной шихты выплавить качественную сталь, в то время как при плавке в индукционной печи необходимо применять шихту высокого качества. Причина этого состоит в том, что в электрической дуговой печи, благодаря высокой температуре шлака, между ним и металлом, а также между шлаком и печной атмосферой могут протекать различные металлургические реакции, в то время как в индукционной печи, вследствие низкой температуры шлака, реакции между ним и металлом могут протекать лишь в ограниченной степени, поэтому рафинирующее действие шлака уменьшается.

Весь цикл плавки стали в электрической дуговой печи можно по времени разделить на три этапа:

а) период расплавления шихты, который начинается примерно от момента завалки шихты в печь и заканчивается в момент ее полного расплавления. Длительность этого периода различна и зависит от характера шихты и интенсивности подвода тепла. В принципе можно использовать либо твердую, либо жидкую (расплавленную в вагранке или предварительно обработанную в конверторе) шихту; иногда часть шихты бывает твердой, а часть – жидкой;

б) период окисления, в течение которого из расплава удаляются основная часть сопутствующих элементов и газы (частично окисление сопровождающих элементов проходит еще в период расплавления шихты);

в) период окончания (доводки) плавки, в течение которого из стали удаляется сера и производится раскисление и легирование стали.

В течение всего процесса плавки, т. е. в продолжение всех трех периодов, печная атмосфера, шлак и расплав взаимодействуют между собой. При этом проходят как химические реакции между печной атмосферой и шлаком, шлаком в расплаве, так и химические реакции в шлаке и расплаве. В шлаке, наряду с железом и углеродом, содержатся такие элементы, как Mn, Si, P, S, Cr, Ca, Ni, Cu, N₂, H₂, O₂ и т. д., которые могут в процессе плавки реагировать между собой. В течение плавки в печи должны быть созданы необходимые условия для снижения содержания нежелательных элементов в стали до минимальных значений так, чтобы были обеспечены заданный химический состав и требуемая чистота стали.

подавляющую часть элементов можно удалить из стали путем окисления. Возникающие при этом оксиды переходят в шлак. Для получения достаточной степени окисления сопутствующих элементов в печи должно быть соответствующее количество кислорода, который находится в виде различных оксидов, содержащихся в шихте (например,

ржавчины), и в виде кислорода воздуха. В процессе плавки кислород вводится в печь в виде железной или марганцевой руды, которые в сущности являются оксидами, либо через расплавленный металл продувают газообразный кислород.

Очередность окисления отдельных элементов, содержащихся в металле, зависит прежде всего от их сродства к кислороду. Сродство элементов к кислороду, однако, изменяется в зависимости от температуры, концентрации веществ и характера среды, в которой проходит окисление. При условиях, наблюдающихся в ваннах вышеприведенных печей, элементы по их сродству к кислороду можно расположить в следующем порядке: Ca, Mg, Al, Ti, Si, V, Mn, P, Cr, Fe, S, W, Ni, Mo, Co, Cu. Из этого ряда видно, что путем окисления можно устранить из стали только те элементы, которые имеют большее сродство к кислороду, чем железо. Примерно в таком же порядке происходит и выгорание отдельных элементов при плавке. При этом, однако, не соблюдается строгая последовательность, а отдельные фазы окисления перекрываются (например, уже в начальной фазе плавки стали угорает, кроме других элементов, и железо).

Плавка цветных сплавов. При плавке цветных сплавов производится переплав полуфабрикатов (чушек), первичных чистых металлов, лигатур и вторичных сплавов, лома и стружки с целью получения сплава необходимого химического состава и требуемой чистоты.

Металл при плавке следует предохранять от насыщения газами, а при необходимости растворенные в расплавленном металле газы следует перед заливкой форм удалить из него или перевести в химические соединения. Выбор соответствующего метода зависит от вида производимого сплава.

В зависимости от типа плавильной печи в ее атмосфере могут находиться следующие газовые компоненты: O_2 , H_2 , N_2 , H_2O , SO_2 , CO_2 , C_mH_n и т. д. Кроме того, в атмосфере печи могут присутствовать также пары металлов (например, пары Zn при производстве латуней).

Очень опасными являются кислород и водород. Водород часто растворяется в расплавленном сплаве, а при его твердении выделяется в форме пузырей. Под действием кислорода отдельные составляющие расплава окисляются. Мерой окисления является интенсивность протекания соответствующей реакции. Кинетика реакции зависит также от времени, температуры, величины контактной поверхности, условий диффузии и, не в последнюю очередь, от физических свойств образующихся оксидов.

Неотъемлемой частью технологии плавки сплавов цветных

металлов является рафинирование расплава и процессы, с помощью которых управляют первичной литой структурой с целью улучшения механических свойств сплавов. К этим процессам относится модифицирование.

2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИННОВАЦИЙ

В мировой экономической литературе понятие «инновация» интерпретируется как превращение потенциального научно-технического прогресса в прогресс реальный, воплощенный в новых продуктах, технологиях, услугах. При этом необходимо иметь в виду, что понятие «инновация» более емко, чем понятие «новая техника». Последнее применяется только в отношении орудий труда, новых материалов и пр., используемых в основном в производстве. Понятие же «инновация» распространяется на новый продукт или услугу, способ их производства, новшество в организационной, научно-технической и других сферах, любое усовершенствование, обеспечивающие повышение качества и технических показателей, экономию затрат или создающие условия для такой экономии.

Методология системного описания инноваций в условиях рыночной экономики базируется на международных стандартах, рекомендации по которым были приняты созданной в рамках Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) Группой национальных экспертов по показателям науки и техники. Этой группой было разработано «Руководство Фраскати» («Предлагаемая стандартная практика для обследования исследований и экспериментальных разработок»). Свое название документ получил в связи с тем, что первая версия рекомендаций была принята в 1963 году в итальянском городе Фраскати.

Положения «Руководства Фраскати» периодически уточняются и расширяются, что обусловлено изменениями в стратегии развития мировой и национальных экономик, в научно-технической политике на национальном и международном уровнях. (Последняя редакция «Руководства Фраскати» была принята в 1993 году).

Методика сбора данных о технологических инновациях базируется на рекомендациях, принятых в Осло в 1992 г. и в Канберре в 1994 г. Они соответственно получили названия: «Руководство Осло» и «Руководство Канберра».

В соответствии с международными стандартами инновация определяется как конечный результат инновационной деятельности, получившей воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо

в новом подходе к социальным услугам.

Непременными свойствами инновации являются: научно-техническая новизна, производственная применимость, коммерческая реализуемость.

Коммерческий аспект определяет инновацию как экономическую необходимость, осознанную через потребности рынка.

Коммерциализация науки, технологий - это процесс, посредством которого результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ своевременно преобразованы в продукты или услуги и выведены на рынок. Как утверждают американские специалисты, если технология не коммерциализирована, то она и не создана.

Коммерциализация научно-технической деятельности заключается в «материализации» инноваций, изобретений и разработок в новые технически совершенные виды промышленной продукции, средств и предметов труда, технологии и организации производства, превращение их в источник дохода.

Как следует из сказанного, инновация всегда имеет четкую ориентацию на конечный результат прикладного характера, она всегда должна рассматриваться как сложный процесс, который обеспечивает определенный технический, социально-экономический эффект.

На практике понятия «новшество», «инновация», «нововведение» нередко отождествляются, хотя между ними есть и некоторые различия.

Новшеством может быть новый порядок, новый метод изобретения. **Нововведение** означает, что новшество используется. С момента принятия к распространению новшество приобретает новое качество и становится **инновацией**.

Технологические инновации, охватывающие новые продукты и процессы, а также их значительные технологические изменения (не только в промышленном производстве, но и в других отраслях человеческой деятельности, например, новые лекарства, новые методы лечения болезней и т. д.),

Различают два типа технологических инноваций: продуктовые и процессные.

Продуктовые инновации охватывают внедрение новых или усовершенствованных продуктов (замена парового двигателя двигателем внутреннего сгорания, индикаторы на жидких кристаллах и т. п.).

Процессная инновация — это освоение новой или значительно усовершенствованной технологии, оборудования, организации производства для выпуска продукции, обеспечивающее принципиально новый уровень качества продукции, экономики ее производства, условий труда (замена ручной сварки механизированными способами,

внедрение конвейерной сборки, применение низкотоксичных сварочных материалов и т. д.).

По степени радикальности, по значимости для экономического развития инновации можно подразделить на **базисные, улучшающие и модификационные**.

За этим разделением стоят два различных инновационных процесса: пионерный и догоняющий. **Пионерный** тип означает линию на достижение мирового первенства (например, США). **Догоняющий** тип дешевле и может дать быстрый результат (например, Япония).

На пионерном пути создаются **базисные инновации**, которые реализуют крупные изобретения и становятся основой формирования новых поколений и направлений техники.

На догоняющем пути создаются **улучшающие** (так называемые приоритетные) и **модификационные** (частные) инновации, связанные с улучшением свойств существующих процессов производства и продуктов. Улучшающие инновации обычно реализуют мелкие и средние изобретения, значительно совершенствующие существующие продукты и процессы их производства.

Модификационные инновации направлены на частичное улучшение устаревших поколений техники и технологий без заметного влияния на параметры, свойства, стоимость изделия и способы его производства. Сюда же относится расширение номенклатуры продукции и технологий за счет освоения производства не выпускавшихся ранее в стране, отрасли или на данном предприятии. Эти инновации уже известны на рынке и внедряются с целью удовлетворения текущего спроса, в том числе с отказом от их импорта, и для увеличения доходов данных предприятий отрасли или расширения экспортного потенциала страны, если данные продукты будут конкурентоспособны на мировом рынке. При этом конкурентоспособным в условиях развитого рынка является товар, комплекс потребительских и стоимостных свойств которого обеспечивает ему коммерческий успех, т. е. позволяют быть прибыльно обмениваемым на деньги или иной товар в условиях широкого применения к обмену других товаров-аналогов.

На мировом рынке сегодня представлены 3 группы стран:

- страны североатлантического региона, завершающие формирование постиндустриальных экономик (США, Канада и Западная Европа);
- индустриальные государства Азии и Латинской Америки, образующие новый промышленный центр мира
- экономически отсталые страны, по-прежнему участвующие в международном разделении труда поставками сельхозпродукции и

промышленного сырья и полуфабрикатов.

«Догоняющая» стратегия во всех странах, кроме Китая, обеспечила им только временный рост, который не был стойким и не позволил им даже приблизиться к странам-лидерам, если они не сумели вовремя перейти на стратегию лидерства в определенных отраслях. Об этом свидетельствует цепь экономических кризисов в таких странах. Исключение составляет только Китай, успехи которого обусловлены его закрытостью и чрезвычайно высоким влиянием государственного регулирования.

По типу новизны для рынка инновации принято разделять на новинки:

- мирового масштаба — новинка нигде не имеет аналога, это первое в мире внедрение изменения;
- в масштабах страны — инновация носит воспроизводяще-адаптационный характер: нет аналога в стране, но он существует за границей;
- в масштабе данной отрасли, региона, предприятия — инновации, имеющие аналоги в других отраслях, регионах, на других предприятиях, но не применявшиеся ранее в данной отрасли, регионе, предприятии.

Исходя из позиций микроэкономического развития не имеет значения, что продукты и технологии где-то известны; для данного общества, которое их раньше не знало или не применяло, они, несомненно, являются инновациями. Для анализа процессов развития более правильным является такое понимание понятия инновации, при котором таковой считается не только инновация в мировом масштабе, но и новшество для данного общества.

Наряду с необходимостью правильного определения понятия «инновация» не менее важным является определение понятий «инновационный продукт» и «инновационная деятельность». Общепринятой в мировой практике является следующая формулировка: **инновационная деятельность** — это деятельность, направленная на использование и коммерциализацию результатов научных исследований и разработок для расширения и обновления номенклатуры и улучшения качества выпускаемой продукции (товаров, услуг), совершенствование технологии их изготовления с последующим внедрением и аффективной реализацией на внутреннем и зарубежных рынках.

Под понятием «инновационная деятельность» обычно понимается деятельность по реализации инновационного процесса во времени, представляющая собой некоторую последовательность таких этапов, как: поисковые исследования, научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, опытно-промышленное производство наукоемкой продукции, полномасштабное ее производство, реализация

готовой продукции и дальнейшее коммерческое распространение инноваций,

Под использованием передовых производственных технологий следует понимать их внедрение и промышленную эксплуатацию. Внедрение новых методов производства может осуществляться на основе принципиально новых технологий или новых комбинаций существующих технологий либо на основе новых знаний. При этом технологии могут быть воплощены в новые или усовершенствованные машины, оборудование, программные средства, а новые знания могут быть результатом исследований, приобретения или использования специальной квалификации и навыков.

- *инновационный продукт* - результат выполнения инновационного проекта и научно-исследовательской и (или) опытно-конструкторской разработки новой технологии (в т. ч. информационной), являющийся реализацией объекта интеллектуальной собственности, повышающий отечественный научно-технический и технологический уровни, изготовлен в стране впервые, или если не впервые, то по сравнению с другим продуктом, представленным на рынке, является конкурентоспособным и имеет существенно более высокие технико-экономические показатели;

- *инновационная продукция* - результат выполнения инновационного проекта в виде промышленной реализации, тиражирования инновационного продукта;

- *инновационный проект* - комплект документов, определяющий процедуру, комплекс всех необходимых мероприятий по разработке, производству и реализации инновационного продукта и (или) инновационной продукции;

- *приоритетный инновационный проект* - инновационный проект, относящийся к одному из приоритетных направлений инновационной деятельности, утвержденных Правительством республики;

- *инновационное предприятие* (инновационный центр, технопарк, технополис, инновационный бизнес-инкубатор и т. д.) - предприятие (объединение предприятий), которое разрабатывает, изготавливает и реализует инновационные продукты и (или) продукцию, объем которых в стоимостном измерении превышает 70% его общего объема продукции и (или) услуг;

- *инновационная инфраструктура* - совокупность предприятий, организаций, учреждений, их объединений, ассоциаций любой формы собственности, которые предоставляют услуги по обеспечению инновационной деятельности (финансовые, консалтинговые,

маркетинговые, информационно-коммуникативные, юридические, образовательные и т. д.). Инновационная деятельность, связанная с капитальными вложениями в инновации, называется *инновационно-инвестиционной*.

Инновационная деятельность, как правило, представляет собой целый комплекс научных, технологических, производственных, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, совокупность которых приводит к инновациям в виде нового или усовершенствованного продукта.

3 ПОНЯТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА, ЕГО ВИДЫ И СТАДИИ. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Общепринято считать, что **процесс инновационной деятельности** состоит из четырех основных стадий:

- исследование и разработка;
- освоение;
- промышленное производство;
- потребление.

Некоторые авторы дают несколько иную трактовку стадий инновационного процесса (наука - техника - производство - потребление), которая, отличаясь по форме от вышеприведенной, идентична ей по содержанию.

Стадия *«исследование и разработка»* включает следующие этапы;

- фундаментальные исследования (теоретические и поисковые);
- прикладные исследования;
- опытно-конструкторские и технологические разработки.

Результаты теоретических исследований проявляются в научных открытиях, обосновании новых понятий и представлений, создании новых теорий.

К поисковым относятся исследования, задачей которых является открытие новых принципов создания изделий и технологий; новых, неизвестных ранее, свойств материалов и их соединений и пр. Одной из задач поисковых исследований является подтверждение или опровержение результатов теоретических исследований. Результаты фундаментальных исследований являются научной базой для генерирования новых идей и направлений инновационных процессов, открывая пути и ранее неизвестные области науки и техники.

Прикладные исследования направлены на исследования путей практического применения открытых ранее явлений и процессов. Научно-исследовательская работа прикладного характера ставит своей целью решение технической проблемы, уточнение неясных теоретических вопросов, получение конкретных результатов, которые будут использованы в качестве научно-технического задела в опытно-конструкторских и технологических разработках,

Под опытно-конструкторскими и технологическими разработками понимается применение результатов прикладных исследований для создания (или модификации, усовершенствования) образцов новой

техники, материалов, технологий. Это завершающая стадия научных исследований, своеобразный переход от лабораторных условий и экспериментального производства к промышленному производству. На этой стадии окончательно проверяются результаты теоретических исследований, разрабатывается соответствующая техническая документация, изготавливаются образцы новой техники.

Завершающей стадией сферы науки являются освоение промышленного производства новых изделий, которое включает научное и производственное освоение, испытания новой (усовершенствованной) продукции, а также техническую и технологическую подготовку производства.

После стадии освоения начинается *процесс промышленного производства*. На этой стадии знания находят свое материальное воплощение, а исследования - свое логическое завершение. На стадии промышленного производства осуществляются два этапа:

- производство новой техники;
- реализация новой продукции потребителю, ее потребление.

Производство новой техники представляет собой непосредственное общественное производство материализованных научно-технических разработок в масштабах, определенных запросами потребителей. Целью и содержанием второго этапа является доведение новой техники до потребителей в объемах и по ценам, которые диктуются потребительским спросом.

На стадии потребления осуществляются три одновременно протекающих процесса:

- непосредственное использование материальных благ, произведенных на основе инноваций;
- сервисное обслуживание, включающее технические и организационные мероприятия, обеспечивающие поддержание новой техники в работоспособном состоянии в течение нормативного срока службы;
- выработка новых требований к научно-техническим достижениям и формирование инновационного заказа научно-производственному сектору экономики.

Временной период, который начинается с выполнения теоретических и поисковых исследований и включает последующую разработку, освоение и применение новой научно-технической идеи, улучшение технико-экономических параметров выпускаемой техники, ее ремонтное и иное обслуживание, а заканчивается моментом, когда эта техника подлежит замене качественно новой, более эффективной, называется жизненным циклом.

Инновационный процесс - это процесс последовательного

превращения идеи в товар через этапы фундаментальных, прикладных исследований, конструкторских разработок, маркетинга, производства, наконец, сбыта. Можно также сказать, что инновационный процесс – это процесс коммерциализации технологий. Можно сказать и по-другому, но суть остается одна — инновационный процесс здесь - это линейная последовательность определенных действий.

В статье Роя Росвелла в журнале Technovation «Изменение характера инновационного процесса» дана характеристика различных моделей инновационного процесса в различные периоды времени.

Так вот, линейный подход к определению инновационного процесса Росвелл относит к 1950-ым — середине 1960-х годов, к первому поколению инновационного процесса. Вот как определяет это поколение:

«I поколение: 1955 — середина 1960-х годов. Модель, которая подталкивается технологиями (technology push-model). Простой линейно-последовательный процесс с упором на роль НИОКР и отношением к рынку лишь как к потребителю результатов технологической активности производства».

Первое поколение инновационного процесса можно иллюстрировать следующей схемой:



Схема 1 - Первое поколение инновационного процесса

Или вот такой схемой:

Чаще всего в отечественных публикациях приходится встречать именно такие и им подобные схемы.

Второе поколение инновационного процесса, по Росвеллу, относится к концу 1960-х началу 1970-х годов. Та же линейно-последовательная модель, но с упором на важность рынка, на потребности которого реагируют НИОКР (need pull model)» Итак, инновационный процесс второго поколения подталкивается необходимостью – матерью всех изобретений.



Схема 2. Первое поколение инновационного процесса



Проиллюстрируем его на следующей схеме:

Схема 3. Второе поколение инновационного процесса

Вот какое пояснение к данной схеме можно дать:

«Радар был изобретен на основе того факта, что присутствие самолета изменяет радиосигнал. Его изобретение было вызвано

необходимостью засекаать присутствие самолетов противника в воздухе. Для изобретения использовалась технология генерирования радиоволн. Был разработан новый продукт – радар, использование которого изменило мир техники и, в свою очередь, породило необходимость защиты от радара. Таким образом, была открыта технология «стелс», которая была использована для создания «самолетов-невидимок». Эта технология также изменила среду и появились новые радары, которые успешно распознают «невидимок».

III поколение: начало 1970-х – середина 1980-х годов. Сопряженная модель (coupling model). В значительной степени комбинация I и II поколений с акцентом на связи технологических способностей и возможностей с потребностями рынка.

Третье поколение инновационного процесса можно проиллюстрировать следующей схемой:

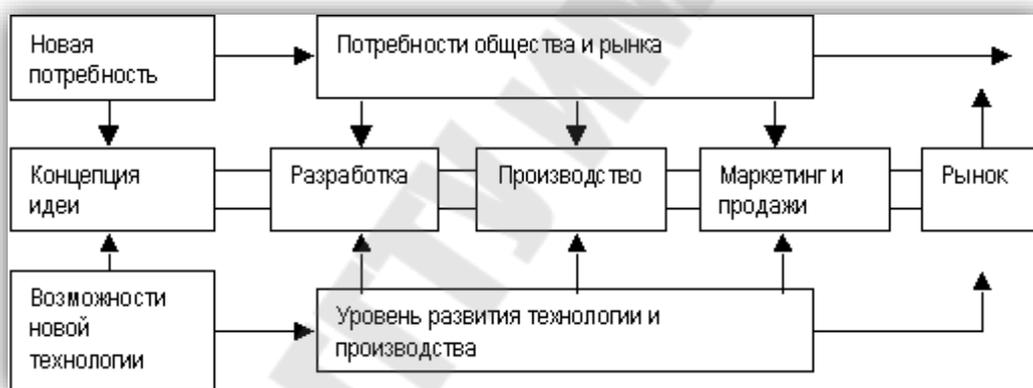


Схема 4. Третье поколение инновационного процесса.

IV поколение: середина 1980-х годов – настоящее время – это японская модель передового опыта. Отличается тем, что акцентируется внимание на параллельную деятельность интегрированных групп и внешние горизонтальные и вертикальные связи». Главное здесь — параллельная деятельность. Одновременная работа над идеей нескольких групп специалистов, действующих в нескольких направлениях. Это убыстряет решение задачи, ибо скорость реализации технической идеи и превращения ее в готовую продукцию.

Как ускорить процесс изобретения понятно. Для этого в разработана прекрасная теория, технология, алгоритм, называемый ТРИЗ – теория решения изобретательских задач.

4 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИННОВАЦИИ

Все экономические процессы, как и жизнь человека, протекают во времени, т.е. имеют начало, движение вперед и окончание. Потребности и установки людей изменяются по мере того, как они переходят от одного этапа жизни к другому. Точно также любые товары и услуги проходят через ряд стадий, которые в совокупности представляют собой некоторую разновидность жизненного цикла.

Жизненный цикл инновации представляет собой определенный период времени, в течение которого инновация обладает активной жизненной силой и приносит производителю и/или продавцу прибыль или другую реальную выгоду.

Концепция жизненного цикла инновации играет принципиальную роль при планировании производства инноваций и при организации инновационного процесса. Эта роль заключается в следующем:

- концепция жизненного цикла инновации вынуждает руководителя хозяйствующего субъекта анализировать хозяйственную деятельность, как с позиции настоящего времени, так и с точки зрения перспектив ее развития.

- концепция жизненного цикла инновации обосновывает необходимость систематической работы по планированию выпуска инноваций, а также по приобретению инноваций.

- концепция жизненного цикла инновации является основой анализа и планирования инновации. При анализе инновации можно установить, на какой стадии жизненного цикла находится эта инновация, какова ее ближайшая перспектива, когда начнется резкий спад и когда она закончит свое существование.

Жизненные циклы инновации различаются по видам инноваций. Эти различия затрагивают, прежде всего, общую продолжительность цикла, продолжительность каждой стадии внутри цикла, особенности развития самого цикла, разное количество стадий. Виды и количество стадий жизненного цикла определяются особенностями той или иной инновации. Однако у каждой инновации можно определить «стержневую», то есть базовую, основу, жизненного цикла с четко выделенными стадиями.

Схемы жизненного цикла различны у инновационного продукта и у инновационной операции (процедуры).

Основные стадии жизненного цикла нового продукта:

- 1) разработка нового продукта;
- 2) выход на рынок;
- 3) развитие рынка;

- 4) стабилизация рынка;
- 5) уменьшение рынка;
- 6) подъем рынка;
- 7) падение рынка.

Жизненный цикл нового продукта (операции) показан на рисунке

24

На стадии *разработки нового продукта* (см. рис.1: разработка

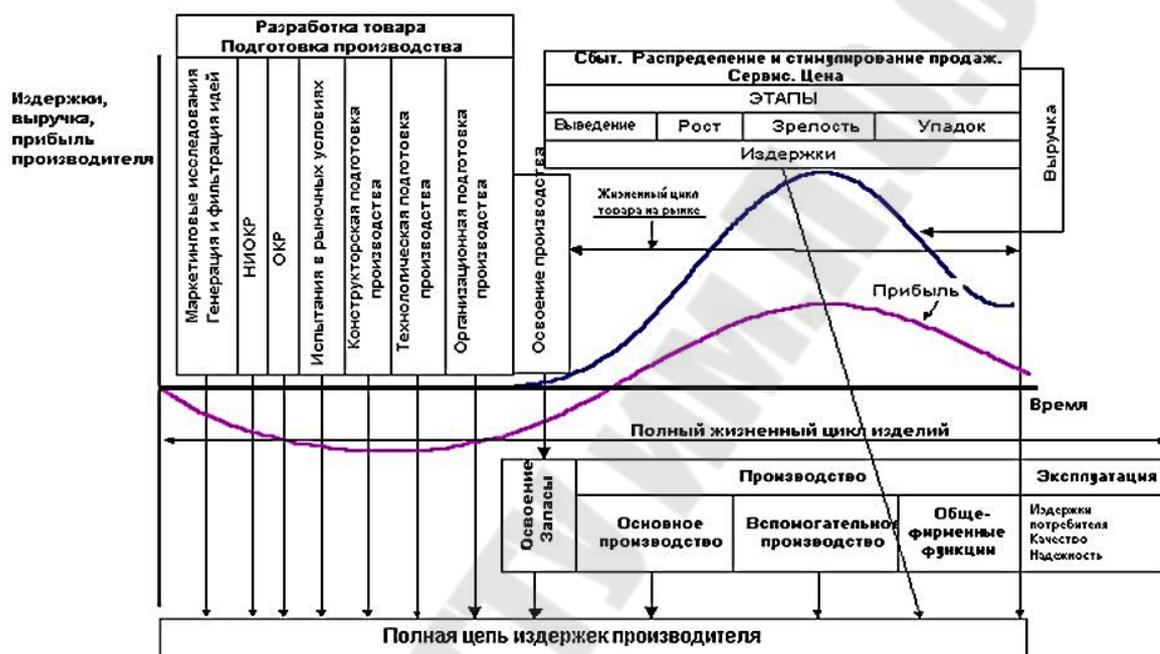


Рисунок 24 - Жизненный цикл нового продукта.

товара, подготовка производства) производитель организует инновационный процесс. Собственно говоря, на этой стадии происходит вложение капитала.

Стадия **выхода на рынок** (см. рисунок 24 : выведение) показывает период внедрения нового продукта на рынок. Продукт начинает приносить деньги. Продолжительность этой стадии зависит от интенсивности рекламы, от уровня инфляции и эффективности работы пунктов по продаже новых продуктов.

Стадия **развития рынка** (см. рис. 1: рост) связана с ростом объема продаж продукта на рынке. Продолжительность ее показывает время, в течение которого новый продукт активно продается и рынок достигает определенного предела насыщения этим продуктом.

Стадия **стабилизации рынка** (см. рис. 1: зрелость) означает, что рынок уже насыщен данным продуктом. Объем продажи его достиг какого-то определенного предела и дальнейшего роста объема продажи уже не будет.

Стадия *уменьшения рынка* (см. рис.1: упадок) - это стадия, на которой происходит спад сбыта продукта, однако еще существует спрос на данный продукт и, следовательно, существуют все объективные предпосылки к увеличению объема продажи продукта.

Две последних стадии могут отсутствовать, т.к. они появляются при диверсификации рынка.

Стадия *подъема рынка* является продолжением предыдущей стадии. Раз спрос на продукт существует, то производитель начинает изучать условия спроса, менять свою кадровую и ценовую политику, применять различные формы материального стимулирования продажи продукта, как продавца (премии), так и покупателя (призы, скидки), проводить дополнительные мероприятия, а также рекламную шумиху, и т.п.

Все это позволяет производителю или продавцу увеличить объем продажи продукта на какой-то период времени. Но он уже не может возрасти до ранее достигнутого предела. Стадия подъема рынка продолжается довольно короткое время и переходит в последнюю стадию — стадию падения рынка.

Стадия *падения рынка* - это резкое снижение объема продажи продукта, то есть падение его до нуля. На этой стадии происходит полная реализация продукта или полное прекращение продажи продукта из-за его ненужности покупателям.

Жизненный цикл новой операции включает в себя четыре стадии:

- разработка новой операции и ее оформление в виде документа;
- реализация операции;
- стабилизация рынка;
- падение рынка.

На стадии *разработки новой операции и оформления ее в виде документа* осуществляется работа по инициации, по поиску идеи, по разработке всего алгоритма финансовой операции, по созданию документа. На этой же стадии осуществляется финансирование производителем всех затрат по разработке операции.

Стадия *реализации операции* связана с ее внедрением внутри хозяйствующего субъекта или с ее реализацией на рынке. На этой стадии активно действует механизм продвижения и распространения инновации.

Стадия *стабилизации рынка* показывает насыщение рынка данной операцией и переходит в стадию *падения рынка*, когда объем продажи операции начинает резко уменьшаться вплоть до полного прекращения продажи.

При рассмотрении жизненного цикла новой операции следует учитывать три момента.

1. Операция реализуется в форме законченного документа, описывающего всю процедуру выполнения данной операции.

Операции реализуются в двух направлениях:

- внутри хозяйствующего субъекта, разработавшего данную операцию;
- на рынке, путем продажи операции другим хозяйствующим субъектам.

Целью реализации операции внутри хозяйствующего субъекта является получение экономической выгоды в виде снижения времени на проведение работы, экономии денежных средств и т.п. Целью продажи операции на рынке другим хозяйствующим субъектам является получение прибыли и поднятие своего имиджа.

3. Операции не патентуются, но представляют собой ноу-хау. Поэтому производитель операции может потерять монополию на операцию, не продав ее на рынке. Кроме того, работники других хозяйствующих субъектов могут сами разработать эту операцию, опираясь на какие-то элементы операции, взятые или украденные (промышленный шпионаж) у других хозяйствующих субъектов.

5 САПР В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

5.1 Классификация современных САПР

Оценить уровень современных САПР и их основные характеристики позволяет классификация САПР, установленная ГОСТ 23501.108-85. Но следует заметить, что в процессе развития САПР появляются признаки, не регламентированные упомянутым ГОСТом, но используемые для описания систем.

По типу проектирования различают системы: САПР изделий, технологических процессов, организационно-технических систем и т.п.

Структура САПР и алгоритм автоматизированного проектирования зависят от тяжести создаваемого объекта. По этому признаку выделяются: САПР обычных объектов с составляющими до 102 (оснастка); объектов средней сложности - до 103 (литейный цех или единица литейного оборудования); объектов высокой сложности - до 104 (АФЛ); очень сложных объектов - свыше 104.

По степени охвата автоматизацией стадий проектирования САПР бывают одноэтапными - выполняют один этап проектирования, и многоэтапными - несколько этапов проектирования и комплексными, осуществляющими все этапы проектирования.

Высшая степень автоматизации достигается в составе комплексной САПР, которая используется на всех стадиях и этапах создания объекта от задумки цели до испытаний и доводки опытных образцов. В составе такой системы выделяются следующие подсистемы: управления процессом создания объектов; проектирования; технологической подготовки опытного производства; управления технологическими процессами; испытаний и доводки изделий.

Примерами действующих САПР ТП литейного производства могут служить системы проектирования литниково-питающих систем отливок, модельных комплектов, литейных форм и формирования карт графических документов технологических процессов литья.

Взаимодействие САПР с автоматизированными системами управления производством осуществляется особенно тесно в тех случаях, когда происходит обмен информацией или программами между ними. В частности, САПР используют для разработки управляющих программ АСУ процессами литья. При этом обмен программами может производиться как в виде обычных документов, так и записанных на машинных носителях. Такие управляющие программы применяют в настоящее время для некоторых специальных видов литья, режимами которых можно управлять в процессе затвердевания отливки.

Среди всего количества программного обеспечения системы

автоматизации проектирования занимают особое место. С одной стороны это специфическая область, отличающаяся от других направлений программирования, с другой стороны она объединяет не только профессионалов в области компьютерных технологий, но и людей не пользующихся программами для автоматизированного проектирования - конструкторов, архитекторов, технологов.

Понятие сквозного проектирования.

Сегодня многие предприятия с определенным успехом применяют различные САПР. Зачастую это недорогие системы проектирования, с помощью которых решают лишь локальные задачи, используя их в качестве «электронных кульманов» и средств систематизации инженерной документации.

3D-системы имеют большое преимущество в проектировании по сравнению с черчением на плоскости:

Во-первых, они позволяют смоделировать изделие до создания чертежей или опытных образцов, наглядно представляя результат моделирования на любом шаге проектирования.

Во-вторых, сведена к минимуму «офисная» стадия на этапе проектирования – вся работа ведётся на компьютере в трёхмерной САД-системе – результатом являются трёхмерные модели отливки и элементов литейной оснастки.

В третьих существенно сократить сроки конструкторского и технологического проектирования, повысить качество выпускаемых изделий и получить возможность быстрого освоения новой, востребованной рынком продукции, позволит переход к методам сквозного параллельного проектирования и подготовки производства.

Это значительно сокращает производственный цикл. А объёмные модели еще находят применение и на этапах, следующих за производством. С их помощью удобно разрабатывать интерактивную техническую и эксплуатационную документацию, маркетинговые материалы и презентации. Таким образом, на базе объёмной модели возможна организация сквозной технологии проектирования, что обуславливает настоящую техническую революцию в работе инженеров. Современные компьютерные системы повышают эффективность проектирования в разы. С их помощью предприятие может создать цифровой прототип изделия и тем самым сократить количество ошибок, уменьшить число физических опытных образцов и затраты на производство, ускорить выпуск изделий на рынок.

Внедрению современных САПР в повседневную практику мешает человеческий фактор. Не секрет, что основные конструкторские кадры, которые имеют большой опыт и хранят традиции проектирования своих

заводов, уже достигли солидного возраста, а значит, с трудом овладевают современными технологиями, молодым же специалистам помимо умения работать через интерфейсы компьютерных программ нужно еще учиться проектировать. На накопление опыта требуется время. Вместе с тем, в промышленности все острее ощущается дефицит специалистов, знакомых с современными техно- логиями проектирования.

5.2 Основные этапы сквозного проектирования

Компьютерное моделирование литейных процессов (ЛП) состоит из двух частей – теоретической и практической. Теоретическая часть включает в себя все математические модели и методы их численной реализации, а практическая состоит из следующих аспектов:

1. Построение геометрической модели (ГМ);
2. Подготовка конечно-элементной (КЭ) модели;
3. Задание начальных и граничных условий;
4. Варьирование теплофизическими, усадочно-фильтрационными и численными параметрами.

Остановимся подробнее на этих этапах.

Первый этап моделирования ЛП – построение трёхмерной (3D) ГМ. Для этого можно использовать любую САД – систему, применяемую на предприятии.

Одна из важных особенностей моделирования ЛП – наличие не менее двух сопряжённых частей – отливки и формы (а не редко и холодильников), имеющие в местах сопряжения общие узлы. При сложной конфигурации отливки, которую приходится разбивать на несколько частей (соответственно и форму), наличии холодильников разбивка на КЭ может затянуться на несколько дней даже на мощном компьютере.

Последний этап – задание теплофизических характеристик сплава и формы и усадочных фильтрационных характеристик. Так как эти параметры легко определить опытным путём по снятым температурным кривым охлаждения сплава, то моделирование в этом случае помогает выяснить насколько данные параметры влияют на результат (ведь пределы их изменения для большинства промышленных сплавов известны).

Решение этих задач возможно при использовании итерационных решателей, поэтому для проведения расчёта важны численные параметры, управляющие итерационным решением – различные критерии сходимости, задание количества итераций и критерии остановки расчёта. В настоящее время СКМ ЛП, использующие итерационные решатели (ProCAST, «Полигон» и др.), не имеют

развитого интерфейса управления параметрами итерационного решения из-за того, что СКМ ЛП – инструмент литейщика-технолога, а не инженера-исследователя, знакомого с численными математическими моделями реализации физических процессов. Учитывая особенности итерационных решателей, такие средства контроля за ходом решения всё же должны появиться и здесь.

Система автоматизированного трехмерного проектирования Компас 3D. КОМПАС-3D — система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования.

Ключевой особенностью продукта является использование собственного математического ядра С3D и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD / CAM / CAE-системы в работе.

По умолчанию КОМПАС-3D поддерживает экспорт/импорт наиболее популярных форматов моделей, за счёт чего обеспечивается интеграция с различными CAD/CAM/CAE пакетами.

Базовая функциональность продукта легко расширяется за счёт различных приложений, дополняющих функционал КОМПАС-3D эффективным инструментарием для решения специализированных инженерных задач. Например, приложения для проектирования трубопроводов, металлоконструкций, различных деталей машин позволяют большую часть действий выполнять автоматически, сокращая общее время разработки проекта в несколько раз.

Модульность системы позволяет пользователю самому определить набор необходимых ему приложений, которые обеспечивают только востребованную функциональность.

Понятный интерфейс, мощная справочная система и встроенное интерактивное обучающее руководство «Азбука КОМПАС» позволяют освоить работу с системой в кратчайшие сроки и без усилий.

Описание и сравнение САМ литейного производства

В мировой практике последнего десятилетия компьютерная разработка оптимальных технологий, исключающих образование литейных дефектов, становится важным этапом работы технолога. Вместе с тем, появляется очень мало сообщений в печати и трудах многочисленных конференций о полезном и эффективном

использовании компьютерных программ литейщиками.

Все известные по рекламным кампаниям компьютерные программы (LVMflow, Poligon, Magma, ProCast, SolidCast, WinCast, Cast-CD) схожи по функционалу и одинаковым образом решают поставленную задачу. Прогнозирование литейных дефектов в них базируется на расчетах температурных полей, но это лишь теоретическая часть работы. Практическая часть работы заключается в том, что, основываясь на результатах расчетов, в первую очередь, конструируется ЛПС, обеспечивающая направленную кристаллизацию отливки и отсутствие усадочных дефектов в критических областях.

Описание программы СКМ Полигон. Первая версия «Полигона» разработана в 1989 г. в ЦНИИМ (С.- Петербург) по тематике Министерства оборонной промышленности. Каждый год появляется очередная базовая версия. В разработках участвуют ФГУП

«ЦНИИМ», фирма FoundryCAD, специалисты заводов использующих «По- лигон», специалисты СПбГПУ и др.

Система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт» позволяет провести отработку некоторых наиболее важных технологических параметров не на реальной отливке, а на ее компьютерной модели, что снижает затраты на проектирование и доводку литейной технологии.

СКМ полигон разбит на три процессора:

- 1) Препроцессор
- 2) Процессор
- 3) Постпроцессор

Описание программы LVMFlow. LVMFlow – это российская компьютерная программа для моделирования литейных технологий, созданная в лаборатории математического моделирования Удмуртского государственного университета (Ижевск). В основу новой версии LVMFlow положен метод контролируемого объема Control Volume (CVM). CVM предполагает точный учет балансовых условий, в результате чего разностная сетка дополняется набором геометрических характеристик, описывающих истинный объем материала в ячейке сетки, который не равен объему просто кубика (как было в конечных разностях) и площади соприкасающихся материалов в каждой ячейке.

Система LVMFlow достаточно проста в эксплуатации. Ее интерфейс полностью лежит в рамках интерфейса Windows. Терминология меню и диалогов привычна и понятна для специалиста, работающего в литейном производстве.

Программа LVMFlow построена по модульному принципу и включает следующие установки:

- системные установки - установка системных параметров;
- 3D Конвертор - преобразование геометрии в формат LVMFlow;
- база данных - база данных теплофизических свойств сплавов и материалов форм;
- начальные условия - формирование начальных и граничных условий;
- кристаллизация - моделирование затвердевания;
- заливка - моделирование заполнения без учета теплопередачи;
- заливка и кристаллизация - моделирование заполнения формы и затвердевания отливки;
- просмотр результатов - просмотр результатов моделирования.

Подготовка геометрии

В настоящее время существует большое число систем геометрического моделирования (Proengineer, SolidWorks и др.), позволяющих создать геометрический образ в форматах IGES, DXF, STL... Для связи с системами геометрического моделирования в LVMFlow имеется конвертор, преобразующий файлы форматов DXF, CAT, STL, ASCII во внутренний формат LVMFlow.

База данных Система LVMFlow предназначена для моделирования процессов формирования отливок в реальных цеховых условиях. Поэтому в ее составе включена база данных малолегированные стали, легированных стали, чугунов, бронзы, силумины и т.д.

Начальные установки. Модуль Начальные установки предназначен для задания начальных и граничных условий.

Из дополнительных приемов, применяемых в литейной технологии, в LVMFlow реализовано моделирование тепло- электронагревателей (ТЭНов), каналов с теплоносителями (газ, жидкость, плазма) и фильтров. Мощность тепловыделения ТЭНов в процессе моделирования можно менять в произвольные моменты времени.

Для отработки литейной технологии, предусматривающей многократное использование формы, в системе LVMFlow реализовано моделирование циклического процесса.

Моделирование заливки и кристаллизации В LVMFlow имеется три расчетных модуля: 1.Кристаллизация. 2.Заливка. 3.Заливка и Кристаллизация.

В модуле Кристаллизация форма изначально считается мгновенно заполненной расплавом и моделируется процесс затвердевания сплава. В основе модели лежит неравновесная теория кристаллизации многокомпонентного сплава.

В модуле Заливка моделируется заполнение формы расплавом, которое рассматривается, как течение идеальной несжимаемой жидкости

без учета процессов теплопередачи.

Одновременное моделирование процессов заполнения формы расплавом и его затвердевание осуществляется в модуле Заливка и Кристаллизация.

Просмотр результатов моделирования. Результаты моделирования можно сохранять автоматически для дальнейшего просмотра и создания архива технологических решений. На отливку заводится «паспорт», в который записываются все параметры каждого моделирования. Результаты расчета функций можно сохранять в 2D и 3D видах.

6 ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

При разработке нового изделия обязательным этапом является разработка или виртуального, или физического прототипа. Во многих отраслях экономики недостаточно наличие только виртуальной, т.е. компьютерной модели, т.к. зачастую следует решать проблемы, решение которых только с помощью компьютерных моделей невозможно. Среди важнейших задач, которые решаются с помощью прототипов – это оптимизация геометрической формы изделия, осуществляемая по результатам натуральных экспериментов; собираемость многокомпонентного узла; оценка внешнего вида изделия. Исторически, различные технологии, позволяющие быстро с наименьшими затратами создавать макет или прототип стали называть технологиями быстрого прототипирования (RP - rapid prototyping). Однако, в последнее время наибольшее распространение получили аддитивные технологии, т.е. технологии послойного синтеза прототипа по компьютерной модели. Поэтому в настоящее время технологии быстрого прототипирования и аддитивные технологии считают терминами аналогами. Прототип позволяет не только оценить внешний вид изделия и проверить элементы конструкции, а также провести необходимые испытания или изготовить модель для литья и т.д. Использование RP-технологий позволяет до 80% сократить сроки подготовки производства, исключить малоэффективный путь изготовления опытных образцов.

Построение прототипа осуществляется на основе компьютерной твердотельной модели или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с толщиной слоя, равной разрешающей способности оборудования. При разбиении модели на слои может быть учтен припуск на механическую обработку. После послойного представления компьютерной модели также послойно осуществляется построение детали.

Принципиальная схема всех установок прототипирования одинакова: первый слой детали печатается при некотором начальном положении рабочего стола - элеватора установки, наносится слой материала, воспроизводящий первое сечение изделия; затем элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой. Таким образом, слой за слоем воспроизводится сечение модели требуемого изделия. При нанесении отдельных слоев может оказаться, что элементы сечения должны «повиснуть» в воздухе. Для исключения этой ситуации при предварительной подготовке компьютерной послойной модели, в ней строится система поддержек для каждого слоя (если это необходимо), алгоритм построения таких поддержек индивидуален для

каждой технологии прототипирования.

Основным различием между технологиями прототипирования является основной прототипирующий материал, а также способ его нанесения. В мире существует несколько десятков компаний, изготавливающих RP-установки, они постоянно совершенствуют технологию и разрабатывают новые материалы.

6.1 Технологии быстрого прототипирования. Обзор

Под технологиями быстрого прототипирования понимаются технологии послойного построения физической модели (прототипа) в соответствии с геометрией CAD-модели. Существует большое разнообразие технологий быстрого прототипирования. Основным отличием этих технологий от традиционных является создание модели не отделением материала от заготовки, а послойным наращиванием материала, с учетом внутренних поверхностей и даже подвижных частей. По сравнению с традиционными технологиями RP – технологии полностью автоматизированы и позволяют получать модели с существенно малой себестоимостью. Длительность их изготовления в большинстве случаев на несколько порядков меньше, чем при использовании традиционных технологий.

Прототипы, выполненные при использовании RP - технологий, изготавливают из различных материалов: из специальных порошков, жидких смол, воска, пластиков, различных листовых материалов, металлических сплавов.

Основные преимущества RP – технологии:

1. отсутствует необходимость в разработке традиционного технологического процесса, т.к. наличие компьютерной модели детали достаточно для генерации ее поперечных сечений;
2. отсутствует необходимость в выборе или конструировании средств технологического оснащения процесса изготовления прототипа;
3. отсутствует необходимость в проектировании и создании специального инструмента.

6.2 Краткая историческая справка

В настоящее время известно около ста разновидностей технологий быстрого прототипирования. Однако их можно кластеризовать или классифицировать по некоторым признакам выделив несколько основных направлений. На сегодняшний день нет устоявшейся классификации - принимаются различные признаки, в соответствии с которыми невозможно построить инвариантную классификацию для всех RP - технологий. Поэтому в данном пособии будет использована

классификация RP – технологий, которая позволит рассмотреть основные RP - технологии, используемые в машиностроении. Таким образом, по физическому принципу действия RP – технологии можно объединить в четыре группы: технологии на основе экструзии, технологии на основе гранулирования, технологии на основе ламинирования и технологии на основе фотополимеризации.

Общетехническим понятием под экструзией понимается технологическая операция, при помощи которой изготавливают полые детали различной формы из различных материалов путем выдавливания при оптимальной температуре.

Несмотря на то, что в технике под гранулированием понимают процесс образования из расплавов или порошков отдельных твердых частиц в виде гранул, в технологиях быстрого прототипирования при использовании в классификации технологий этого термина понимают наоборот процесс спекания или сплавления из гранул.

Ламинирование – технология склеивание двух или более гибких материалов для получения слоистых материалов.

Фотополимеризация – изменение физико-химических свойств жидких и твердых фотополимеризующихся материалов под воздействием света или лазерного излучения.

Для иллюстрации неоднозначности существующих принципов классификации RP- технологий можно привести еще один признак классификации «использование тепловых процессов». Согласно этому признаку отдельные технологии из ранее описанной классификации, принадлежащие различным группам, объединяются в этой группе – в этом и заключается отсутствие инвариантности классификации RP – технологий на сегодняшний день.

Все технологии быстрого прототипирования были созданы за рубежом, поэтому имеют англоязычную аббревиатуру. Ниже для каждой из четырех групп технологий приведено наименование наиболее распространенных RP - технологий.

Технологии на основе экструзии: FDM, DODJet, EBM, MJM.

FDM (Fused Deposition Modeling) – послойное наложение расплавленной полимерной нити.

EBM (Electron Beam Melting) – электронно-лучевая плавка.

DODJet (Drop-On-Demand-Jet) — построение модели путем напыления капель нагретого материала и последующего фрезерования распыленного слоя. В отдельных источниках эту технологию и FDM-технологию относят к разно- видностям струйной технологии.

MJM (Multi - Jet Modelling) – многоструйная экструзия, эту технологию также относят к технологии трехмерной струйной печати.

Технологии на основе гранулирования: SHS, SLS, 3DP. (SLM) DMLS, SHS (Selective Heat Sintering) – выборочное тепловое спекание.

SLS (Selective Laser Sintering) – выборочное лазерное спекание порошко- вых материалов.

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – прямое металлическое лазерное спекание.

3DP (3D printing) – трехмерная печать.

Технологии на основе ламинирования: LOM.

LOM (Laminated Object Manufacturing) – послойное склеивание пленоч- ных материалов.

Технологии на основе фотополимеризации: SLA, SGC, DLP, MJM, PolyJet, PolyJetMatrix.

SLA (Stereo Lithography Apparatus) - стереолитография, облучение ультрафиолетовым лазером.

SGC (Solid Ground Curing) - облучение ультрафиолетовой лампой через фотомаску.

MJM (Multi Jet Modelling) - многоструйное распыление.

DLP (Digital Light Processing) – метод цифровой обработки света. PolyJet – технология послойного нанесения фотополимерных материалов на платформу с ультратонким слоем толщиной 16 мкм (распыление головкой капле смолы и засветка УФ-лампами).

PolyJetMatrix - технология, использующая несколько различных типов модельных материалов одновременно.

Первая аддитивная технология была предложена в 1984 Чарльзом Халлом (США) – стереолитография или SLA-технология для печати физических трехмерных объектов по цифровым моделям из фотополимеризующейся композиции (ФПК).

Основателем LOM – технологий считается Михаило Фейген, который в 1985 году предложил послойно формировать объемные модели из листового материала (пленок, полиэстера, композитов, пластика и бумаги).

В 1986 году была запатентована SLA-технология, разработанная в 1984 году. В этом же году Чарльз Халл основал компанию 3D Systems и разработал первый коммерческую установку для стереолитографии. В этом же году доктора Карл Декарт и Джо Биман в Университете штата Техас в Остине разработали и запатентовали SLS - технологию.

В 1987 году израильской компанией Cubital была разработана SGC - технология.

В 1988 году компанией 3D Systems разработала модель SLA-250, которая была запущена в серийное производство для широкого круга пользователей. В этом же году Скотт Крамп изобрел FDM - технологию.

В следующем 1989 году Скотт Крамп основал компанию Stratasys. А в 1991 году этой компанией был выпущен первый 3D-принтер серии Dimension с экструдированной печатающей головкой. В этом же году компания Helisys продала первую LOM - машину.

В 1992 году компания Stratasys продала первую машину на основе FDM - технологии. А фирма DTM продала свою первую установку, реализующую SLS- технологию.

В 1993 году Массачусетский технологический институт (MIT) запатентовал «Трёхмерные способы печати».

В 1995 году в Массачусетском технологическом институте впервые введен термин «3D-печать». В этом же году Компания Z Corporation получила эксклюзивную лицензию от MIT использовать технологию 3DP.

В следующем 1996 году компания Stratasys (США) представила установку Genisys, компания Z Corporation представила установку Z402, а 3D Systems представила установку Actua 2100. К данному устройству быстрого прототипирования было впервые применено название 3D - принтер.

В 1997 году фирма EOS (Германия) продала SLA-технологии компании 3D Systems.

В 2005 году компания Z Corporation выпустила установку Spectrum Z510 - первый 3D-принтер с высоким качеством цветной печати.

В 2008 году компания Objet Geometries Ltd разработала принтер Connex500, печатающий различными материалами одновременно.

В 2010 году был напечатан первый автомобиль при помощи гигантских 3D-принтеров Dimension и Fortus компании Stratasys. В этом же году медицинская компания Organovo. Inc объявила о создании технологии, направленной на разработку искусственных кровеносных сосудов на 3D-принтере.

В 2011 году инженерами университета Саутгемптона (Великобритания) создан первый самолёт, напечатанный на 3D-принтере. В этом же году была создана установка для выращивания человеческих органов, использующая стволовые клетки.

В 2012 году в Венском технологическом университете (Австрия) создали 3D-принтер, печатающий со скоростью 5 м/с объекты с разрешением до 100 нм. В таблицу 1 внесены данные, иллюстрирующие типовые характеристики прототипирующих машин [3]. В данном случае под точностью здесь понимается минимальная толщина формируемого слоя. Например, заявленная погрешность для машины Dimension от фирмы Stratasys +/- 0,178 мм справедлива только по оси Z – в направлении печати. В плоскости печати для этой технологии

характерно образование технологического бурта, величина которого существенно больше.

6.3 Анализ аддитивных технологий

Аддитивные технологии (AF – Additive Manufacturing), или технологии послойного синтеза, сегодня одно из наиболее динамично развивающихся направлений "цифрового" производства. Они позволяют на порядок ускорить НИОКР и решение задач подготовки производства, а в ряде случаев уже активно применяются и для производства готовой продукции.

Схематично различия в традиционном и аддитивном производстве можно изобразить следующей схемой:

Преимущества аддитивных технологий:

1. Улучшенные свойства готовой продукции. Благодаря послойному построению, изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере по своему механическому поведению, плотности, остаточному напряжению и другим свойствам превосходят аналоги, полученные с помощью литья или механической обработки.

2. Большая экономия сырья. Аддитивные технологии используют практически то количество материала, которое нужно для производства вашего изделия. Тогда как при традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 80-85%.

3. Возможность изготовления изделий со сложной геометрией. Оборудование для аддитивных технологий позволяет производить предметы, которые невозможно получить другим способом. Например, деталь внутри детали. Или очень сложные системы охлаждения на основе сетчатых конструкций (этого не получить ни литьем, ни штамповкой).

4. Мобильность производства и ускорение обмена данными. Больше никаких чертежей, замеров и громоздких образцов. В основе аддитивных технологий лежит компьютерная модель будущего изделия, которую можно передать в считанные минуты на другой конец мира — и сразу начать производство.

Аддитивные технологии дали возможность применить не только новые материалы, но и новый подход к проектированию изделий для оптимизации конструкций с учетом возможностей аддитивных технологий. Ограничения классических технологий больше не сдерживают конструктора и позволяют создавать облегченные детали и заменять узлы, состоящие из нескольких деталей, лишь одной. Так, при конструировании сейчас активно используют бионический дизайн по

мотивам "систем", созданных природой в ходе эволюционного развития.

Такой подход дает возможность оптимизировать конструкцию деталей и узлов, сэкономить материал при сохранении прочности конструкции.

Яркий пример оптимизации и эффективного применения АМ-оборудования показала компания General Electric. Была оптимизирована конструкция топливной форсунки авиадвигателя LEAP. Количество деталей этого узла сократили с 25 всего до 5 шт. Таким образом, удалось повысить надежность элемента и добиться снижения массы. Учитывая, что в двигателе 19 топливных форсунок, можно смело говорить о серийном производстве.

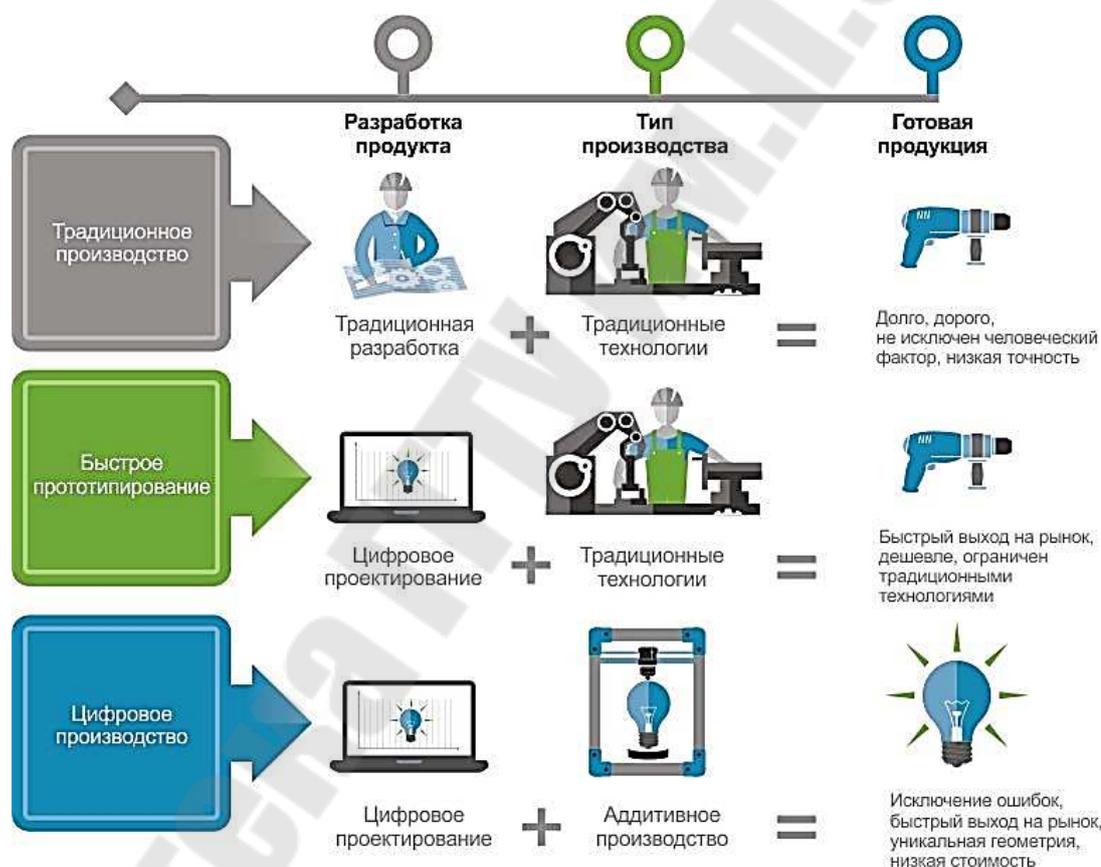


Рисунок 25 - Схема традиционного и аддитивного производства

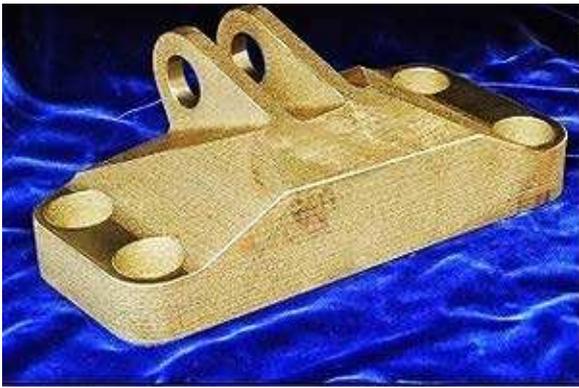


Рисунок 26 - Кронштейн до оптимизации, 2 033 г. Кронштейн после оптимизации, 327 г.



Рисунок 27 - Топливная форсунка двигателя LEAP от General Electric.

Существует множество технологий, которые можно назвать аддитивными, объединяет их одно: построение модели происходит путем добавления материала (от англ. add – "добавлять") в отличие от традиционных технологий, где создание детали происходит путем удаления "лишнего" материала. Они позволяют использовать практически ровно то количество материала, которое необходимо для готовой детали. Кроме того, сокращается время на создание прототипа детали и самой модели агрегата. Производственный цикл запуска таких деталей ранее занимал 3-6 месяцев, а при применении аддитивных технологий – всего пару суток. Например, на изготовление камеры

сгорания и турбины двигателя самолета ушло по 10 часов.

Развитие этого направления АФ-технологий стимулировало и развитие технологий получения порошков металлов. На сегодняшний день номенклатура металлических композиций имеет широкий спектр материалов на основе Ni и Co (CoCrMo, Inconel, NiCrMo), на основе Fe (инструментальные стали: 18Ni300, H13; нержавеющая сталь: 316L), на основе Ti (Ti6-4, CpTigr1), на основе Al (AlSi10Mg, AlSi12).



Рисунок 28 - Камера сгорания и турбина.

6.4 Технология послойного лазерного сплавления

Процесс послойного лазерного сплавления металлического порошка (Selective Laser Melting – SLM) впервые был реализован в 2004 году компанией SLM Solutions GmbH (Terwalula). Суть этого процесса заключается в следующем: CAD-модель изделия разбивается на слои от 30 до 100 мкм, на подложку наносится слой порошка, затем лазерный луч, сфокусированный на слое порошка, расплавляет его частицы, которые при последующей кристаллизации формируют твердую массу, в соответствии с геометрией текущего сечения изделия. Процесс происходит до тех пор, пока не будут изготовлены все слои изделия.

Особенность процесса – комплексное использование систем автоматизированного проектирования (САПР) для создания исходной 3D-модели и лазерной технологии синтеза объемных изделий при послойном спекании частиц порошка и формирования готового изделия. При внесении конструктивных изменений в деталь или разработке ряда типоразмеров изменениям подвергается только 3D-модель детали при установленном технологическом процессе ее получения, что сокращает производственное время изготовления продукции.

В соответствии с исходной 3D-моделью, подготовленной с помощью различных САД-систем, происходит послойное спекание или плавление порошка в зависимости от мощности лазерного излучения. На начальном этапе формируются поддержки для образца. Исходный порошок наносят на специальное основание из различных материалов, разравнивают и подвергают лазерному воздействию. Затем основание опускают вниз и действия повторяют, слой за слоем формируя готовое изделие.

Другая технология SLM - direct deposition, то есть «прямое осаждение» материала. Газопорошковая смесь подается коаксиально вдоль оси лазерного луча, непосредственно в точку, куда подводится энергия и где происходит в данный момент построение фрагмента детали. При этом размер деталей практически не ограничен.



Рисунок 29 – Кронштейн.

В процессе изготовления деталей также немаловажную роль играет защитная атмосфера, особенно при работе с титаном ввиду его химической активности. В процессе осуществляется постоянная продувка рабочей камеры инертным газом. Таким образом, технология селективного лазерного спекания позволяет воспроизвести модулируемое изделие с высокой степенью точности.

Уже сейчас при штучном и мелкосерийном производстве зачастую становится экономически выгодным «вырастить» небольшую партию деталей на SLS-машине, чем изготавливать литейную или штамповую оснастку. В сочетании с HIP (Hot Isostatic Pressing – горячее изостатическое прессование) и соответствующей термообработкой такие детали не только не уступают литым или кованным изделиям, но и превосходят их по прочности на 20–30% (рисунок 30).



Рисунок 30 - Литейная SLA-модель и Al-отливка.

С помощью 3D-печати уже изготавливают детали для авиационного двигателя ПД-14. Теперь, чтобы изготовить комплект завихрителей (рисунок 31), благодаря аддитивным технологиям требуется всего 5 дней. Ранее, по старой технологии, производители тратили на ту же работу около 2-х месяцев.



Рисунок 31 - Комплект завихрителей

6.5 Технология послойного электронно-лучевого синтеза и напыления

Технология синтеза изделий электронным лучом (СИЭЛ) относительно новая, но уже успешно показавшая большие перспективы в аэрокосмической промышленности для изготовления широкой номенклатуры деталей и конструкций самолетов, вертолетов, космических ракет и подсистем. В основу технологии положена операция послойного спекания (плавления) металлического порошка в вакууме с помощью электронно-лучевой пушки. Данный процесс отличают быстрый переход к изготовлению трехмерных изделий непосредственно от системы автоматизированного проектирования, возможность использования широкого спектра металлов и сплавов, в том числе тугоплавких.



Рисунок 32 - Изделия, изготовленные технологией электронно-лучевого синтеза

Можно выделить несколько особенностей электронно-лучевого спекания (плавления) по сравнению с более традиционными прикладными технологиями:

1. Безокислительная среда для синтеза химически активных материалов;
2. Возможность синтеза тугоплавких металлов и сплавов;
3. Дополнительная очистка порошка в процессе обработки;
4. Объемный источник теплоты вследствие пробега электронов в глубь порошка;

5. Малый диаметр пучка в месте его встречи с подложкой;
6. Высокая удельная поверхностная плотность луча;
7. Периодический характер приложения тепловой нагрузки к каждой точке поверхности подложки;
8. Наличие жидкого проводящего слоя в электромагнитном поле вследствие воздействия электронного луча;
9. Зависимость тока фокусировки луча от угла его отклонения (для электронных пушек без преломления луча).

Метод электронно-лучевого напыления, основанный на явлении испарения и конденсации паров различных материалов в вакуумной среде, позволяет получать слои из следующих комбинаций металлических и керамических систем: $MeCrAlY$ (где $Me - Ni, Co, Fe$), $MeCrAlYNfSiZr$, керамики $ZrO_2 - Y_2O_3$.

К числу достоинств метода следует отнести:

1. Относительно высокую производительность;
2. Возможность получения слоя толщиной 1-3 мкм, что снижает вероятность возникновения остаточных напряжений в слое;
3. Возможность формирования слоя из любого материала;
4. Высокую частоту и химическую однородность образующегося слоя;
5. Высокую степень автоматизации и контроля технологического процесса.

Возможные толщины слоя находятся в диапазоне от единиц нанометров до десятков микрометров.

Создание произвольных комплексов нанесения покрытий методами послойного электронно-лучевого синтеза и электронно-лучевого напыления позволит значительно увеличить ресурс эксплуатации деталей и узлов ракетных комплексов, авиационных двигателей, наземных газотурбинных установок и получить характеристики, которые не достигаются традиционными способами, изменением состава материала и любой химической обработки.

Свойства КМ улучшают, корректируя комбинацию режимов синтеза изделий и термообработки. Термическую обработку можно производить в импульсном или непрерывном режиме не только поверхностного слоя, но и в процессе «роста» изделия, формируя тем самым программную структуру, например, с упрочняющими фибрами. Влиять на структуру материала можно, регулируя:

1. Скорость нагрева;
2. Температуру;

3. Время выдержки при заданной температуре;
4. Скорость охлаждения.

Управляющими параметрами для получения в каждом слое материала заданной структуры является ток пучка, скорость сканирования, диаметр пучка в месте встречи с мишенью, время импульса пучка, время паузы.

6.6 Технология послойного синтеза изделий ионным пучком

Для дальнейшего развития аддитивных технологий актуально стоит задача быстрого получения композиционных изделий сложной геометрической формы. Изделия с необходимым комплексом прочностных и пластичных свойств могут быть получены сочетанием основного и упрочняющего порошков. В качестве упрочняющего используют порошок химически активных тугоплавких материалов, которые способны реализовать различные многокомпонентные системы: карбиды, бориды, нитриды титана, молибдена, вольфрама, гафния, тантала, ниобия.

Разработка технологии послойного синтеза ионным пучком (СИП) и проектирование принципиально нового технологического оборудования открывают новые возможности в создании композиционных изделий из порошка различных химических составов, получении деталей с программированной структурой и заранее прогнозируемыми свойствами.

В отличие от широко распространенной технологии быстрого прототипирования лазерным или электронным лучом новый подход:

1. Открывает новые возможности в формировании химического состава композиционного изделия; в качестве элементов могут быть использованы ионы различных газов, которые при бомбардировке металлического порошка образуют новые химические соединения;
2. Позволяет значительно повысить точность изготовления изделий (размеры кроссовера ионного пучка при ускоряющем напряжении 120-150 кВ достигают 1 мкм, что на два порядка меньше электронного пучка);
3. Получать многокомпонентные сплавы из порошка различных химических составов;
4. Использовать при синтезе порошки химически активных тугоплавких металлов, т.к. процесс реализуется в вакууме;

5. Формировать структуру изделия непосредственно во время «роста» изделия.

7 ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛИТЬЕ МЕТАЛЛОВ

При разработке и создании новой промышленной продукции особое значение имеет скорость прохождения этапов НИОКР (научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ), которая в свою очередь существенно зависит от технологических возможностей опытного производства. В частности, это касается изготовления литейных деталей, которые часто являются наиболее трудоемкой и дорогостоящей частью общего проекта. При создании новой продукции, особенно на этапе (опытно-конструкторских работ) в опытном производстве, для которого характерны вариантные исследования, необходимость частых изменений конструкции и, как следствие, постоянной коррекции технологической оснастки для изготовления опытных образцов, проблема быстрого изготовления литейных деталей становится ключевой. В опытном производстве преимущественными остаются традиционные методы изготовления литейной оснастки (в основном деревянные модели) вручную или с использованием механообрабатывающего оборудования, реже станки с ЧПУ (числовым программным управлением). Это связано с тем, что на этапе ОКР в условиях неопределенности результата, когда конструкция изделия еще не отработана, не утверждена, для изготовления образцов не целесообразно создавать «нормальную» технологическую оснастку под серийное производство. В этих условиях весьма дорогостоящая продукция – литейная оснастка, оказывается, по сути разовой, которая в дальнейшей работе над изделием не используется в связи с естественными и существенными изменениями конструкции изделия в ходе ОКР. Поэтому каждая итерация, каждое приближение конструкции детали к окончательной версии требует зачастую и новой технологической оснастки, поскольку переделка старой оказывается чрезмерно трудоемкой или вообще не возможной. И в этой связи традиционные методы оказываются не только дороги в плане материальных потерь, но и чрезвычайно затратные по времени. Переход на цифровое описание изделий – CAD, и появившиеся вслед за CAD (вследствие CAD!) аддитивные технологии произвели настоящую революцию в литейном деле, что особенно рельефно проявилось именно в высокотехнологичных отраслях – авиационной и аэрокосмической области, атомной индустрии, медицине и приборостроении, в отраслях, где характерным является мало серийное, зачастую штучное (в месяц, год) производство. Именно здесь уход от традиционных технологий,

применение новых методов получения литейных синтез-форм и синтез-моделей за счет двигателестроения деталь – блок цилиндров. Для изготовления первого опытного образца традиционными методами требуется не менее 6-ти месяцев, причем основные временные затраты приходится на создание модельной оснастки для литья «в землю». Использование для этой цели технологии Quick-Cast (выращивание литейной модели из фотополимера на SLA-машине с последующим литьем по выжигаемой модели) сокращает срок получения первой отливки с полугода до двух недель.

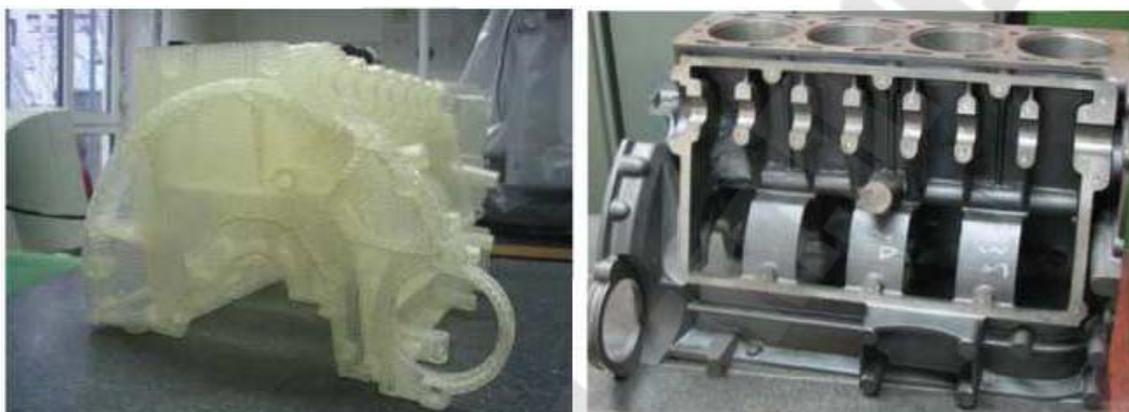


Рисунок 33 – Модель и отливка блока цилиндров из чугуна

**Рисунок 34 – фрагменты
песчаной формы.**



Эта же деталь может быть получена менее точной, но вполне пригодной для данных целей технологией – литьем в выращенные песчаные формы. Согласно этой технологии, в изготовлении литейной модели вообще нет необходимости: выращивается «негатив» детали – форма. Форма для литья такой крупной детали, как блок цилиндров, выращивается фрагментами, затем собирается в опоке и производится заливка металла. Весь процесс занимает несколько дней. Значительная часть «обычных» литейных изделий, не имеющих специальных

требований по точности литья или внутренней структуры, может быть получена в виде готовой продукции в течение нескольких дней: прямое выращивание восковой модели (1 день); формовка+сушка формы (1 день); прокалка формы и собственно литье (1 день); итого: 3–4 дня с учетом подготовительнозаклучительного времени. Практически все автомобильные и авиастроительные компании промышленно развитых стран имеют в арсенале своего опытного производства десятки установок для аддитивного производства, обслуживающих задачи НИОКРа. Более того, эти машины начинают использоваться, как «обычное» технологическое оборудование в единой технологической цепи и для серийного производства.

7.1 Аддитивные технологии и быстрое прототипирование

Additive Fabrication (AF) или Additive Manufacturing (AM) – принятые в англоязычной технической лексике термины, обозначающие аддитивный, т. е. «добавлением», метод получения изделия (в противоположность традиционным методам механообработки путем «вычитания» (subtractive), материала из массива заготовки). Они употребляются наряду со словосочетанием Rapid Prototyping (или RP-технологии) – Быстрое Прототипирование, но имеют более общее значение, точнее отражающее современное положение. Можно сказать, что Rapid Prototyping в современном понимании является частью AF-технологий, «отвечающей» за собственно прототипирование методами послойного синтеза. AF- или AM – технологии охватывают все области синтеза изделий, будь то прототип, опытный образец или серийное изделие.

Суть AF-технологий, как и RP-технологий, состоит в послойном построении, послойном синтезе изделий – моделей, форм, мастер-моделей и т. д. путем фиксации слоев модельного материала и их последовательного соединения между собой различными способами: спеканием, сплавлением, склеиванием, полимеризацией – в зависимости от нюансов конкретной технологии. Идеология аддитивных технологий базируется на цифровых технологиях, в основе которых лежит цифровое описание изделия, его компьютерная модель или т. н. CAD-модель. При использовании AF-технологий все стадии реализации проекта от идеи до материализации (в любом виде – в промежуточном или в виде готовой продукции) находятся в «дружественной» технологической среде, в единой технологической цепи, где каждая технологическая операция также выполняется в цифровой CAD/CAM/CAE-системе. Практически это означает реальный переход к «безбумажным» технологиям, когда для изготовления детали традиционной бумажной чертежной документации

в принципе не требуется.

В настоящее время на рынке существуют различные АФ-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако общим для них является послойный принцип построения модели. Особую роль АФ-технологии играют в модернизации литейного производства, они позволили решать ранее не решаемые задачи, «выращивать» литейные модели и формы, которые невозможно изготовить традиционными способами. Радикально сократились сроки изготовления модельной оснастки. Развитие технологий вакуумного формования и вакуумного литья по формам и моделям, полученным аддитивными технологиями, дало возможность сократить сроки изготовления пилотных, опытных образцов и в ряде случаев серийной продукции в разы и десятки раз. Последние достижения в области порошковой металлургии позволили существенно расширить возможности аддитивных технологий по непосредственному «выращиванию» функциональных деталей из металлов и получению новых конструкционных материалов с уникальными свойствами (технологии «spray forming» и др.).

АФ-технологии с полным основанием относят к технологиям XXI-го века. Кроме очевидных преимуществ в скорости и, зачастую, в стоимости изготовления изделий, эти технологии имеют важное достоинство с точки зрения охраны окружающей среды и, в частности, эмиссии парниковых газов и «теплого» загрязнения. Аддитивные технологии имеют огромный потенциал в деле снижения энергетических затрат на создание самых разнообразных видов продукции.

«Под давлением» глобального развития трехмерных CAD/CAM/CAE-технологий современное литейное, и в первую очередь опытное, производство претерпевает существенную модернизацию, которая имеет целью создать условия для полноценной реализации принципа «безбумажных» технологий в течение всего процесса создания нового изделия – от проектирования и разработки CAD-модели, до конечного продукта, быть неотрывной частью цикла проектирования и изготовления прототипов, опытных образцов и малых серий изделий различного назначения с широкой номенклатурой применяемых материалов. И для этой цели «литейщики» оснащаются совершенно новым для них оборудованием, дающим им новые возможности для удовлетворения «капризов» конструкторов, но одновременно требующим от них освоения новых знаний, заставляя и технологов, и конструкторов говорить на одном 3D-языке, при этом, если не устраняя, то существенно ослабляя извечное противостояние технолога и конструктора.

Современные Центры Аддитивных Технологий часто в своем полном названии содержат (совершенно справедливо) слова «конструкторско-технологический», тем самым подчеркивается единство, а не борьба противоречий, между конструктором и технологом. Эти центры, конечно, в рамках финансовых ограничений, по возможности оснащаются комплексно для решения широкого круга задач. Учитывая специфику российской промышленности, где зачастую в рамках одного предприятия сосредоточено производство огромной номенклатуры изделий из различных материалов, где многие предприятия по разным причинам, но вынуждены содержать свое «натуральное хозяйство», такой подход является вполне рациональным. Опытное литейное производство для получения и металлических, и пластмассовых изделий имеют много общего, а с применением АF-технологий становятся еще более близкими и по применяемому оборудованию, и по технологическим приемам, и по обучению и подготовки профессиональных кадров.

7.2 Аддитивные технологии и литейное производство

Как уже отмечалось, особое значение АF-технологии имеют для ускоренного производства литейных деталей. АF-машины используются для получения:

1. литейных моделей;
2. мастер-моделей;
3. литейных форм и литейной оснастки.

7.2.1. Изготовление литейных синтез-моделей

Литейные модели **могут быть получены (выращены)** из:

1. порошкового полистирола (для последующего литья по выжигаемым моделям);
2. фотополимерных композиций, в частности, по технологии Quick-cast для последующего литья по выжигаемым моделям или по технологии MJ (Multi Jet) для литья по выплавляемым моделям;

Синтез-модели из порошкового полистирола

Полистирол широко используется в качестве модельного материала для традиционного литья по выжигаемым моделям. Однако в связи с бурным развитием технологий послойного синтеза приобрел особую популярность в области прототипирования, а также для промышленного изготовления штучной и малосерийной продукции. Полистирольные модели изготавливаются на АF-машинах, работающих по технологии

SLS – Selective Laser Sintering – послойное спекание порошковых материалов. Эту технологию часто применяют тогда, когда необходимо быстро сделать одну или несколько отливок сложной формы относительно больших размеров с умеренными требованиями по точности. Суть технологии заключается в следующем.



Рисунок 35 – SLS машина SinterStationPro и модель колеса турбины.

Модельный материал – полистирольный порошок с размером частиц 50 – 150 мкм, накатывается специальным роликом на рабочую платформу, установленную в герметичной камере с атмосферой инертного газа (азот). Лазерный луч «пробегает» там, где компьютер «видит» в данном сечении CAD-модели «тело», как бы заштриховывая сечение детали, как это делает конструктор карандашом на чертеже. Здесь лазерный луч является источником тепла, под воздействием которого происходит спекание частичек полистирола (рабочая температура около 120 °С). Затем платформа опускается на 0,1–0,2 мм и новая порция порошка накатывается поверх отвержденного, формируется новый слой, который также спекается с предыдущим. Процесс повторяется до полного построения модели, которая в конце процесса оказывается заключенной в массив неспеченного порошка. Модель извлекается из машины и очищается от порошка.



Рисунок 36 - Полистирольная модель и отливка головки цилиндра ДВС

Преимуществом данной технологии является отсутствие поддержек – они не нужны, поскольку модель и все ее строящиеся слои

во время построения удерживаются массивом порошка.

Имеющиеся на рынке машины фирм 3D Systems и EOS позволяют строить достаточно крупные модели – размерами до 550x550x750 мм (это важно, это позволяет строить крупные модели зацело, без необходимости склейки отдельных фрагментов, что повышает точность отливки и надежность, особенно вакуумного литья). Весьма высокая детализация построения моделей: могут быть построены поверхностные элементы (номера деталей, условные надписи и пр.) с толщиной фрагментов до 0,6 мм, гарантированная толщина стенки модели до 1,5 мм.

Принципиально технологии литья по восковым и по полистирольным моделям не отличаются. Используются те же формовочные материалы, то же литейное и вспомогательное оборудование. Разве что восковая модель – «выплавляемая», а полистирольная модель – «выжигаемая». Отличия лишь в нюансах формования и термообработки опок. Однако эти нюансы имеют значение. Работа с полистирольными моделями требует внимания при выжигании: выделяется достаточно много газов (горючих), которые требуют нейтрализации, материал частично выгорает в самой форме, есть опасность образования золы и засорения формы, нужно предусмотреть возможность стекания материала из застойных зон, безусловным требованием является использование прокалочных печей с программаторами, причем программа выжигания полистирола существенно отлична от программы вытапливания воска. Но в целом, при определенном навыке и опыте, литье по выжигаемым полистирольным моделям дает очень хороший результат.



Рисунок 37 - Полистирольная модель (после выращивания и инфильтрации) и отливка, чугун.

К недостаткам технологии нужно отнести следующее. Процесс спекания порошка – это тепловой процесс со всеми присущими ему недостатками: неравномерность распределения тепла по рабочей камере, по массиву материала, коробление вследствие температурных деформаций. Второе. Порошок полистирола не сплавляется, как

например, порошки полиамида или металла, о которых речь пойдет ниже, а именно спекается – структура модели пористая, похожа на структуру пенопласта. Это делается специально для облегчения в дальнейшем удаления материала модели из формы с минимальными внутренними напряжениями при нагревании. Построенная модель, в отличие от, например, восковки, требует весьма аккуратного обращения и при очистке, и при дальнейшей работе в подготовке к формованию.



Рисунок 38 – Полистирольные модели и произведённые отливки.

Для придания прочности и удобства работы с ней (сочленения с литниковой системой, формовки) модель пропитывают специальным составом на восковой основе – процесс называется инфильтрацией. Модель помещают в специальную печь и при температуре около 80 °С пропитывают указанным составом (на фотографии показаны инфильтрированные модели красного цвета, из машины же извлекаются полистирольные модели снежнобелого цвета). Это также несет в себе опасность деформирования модели и требует определенных навыков персонала. Правда, в последнее время появились полистирольные модельные порошки, не требующие инфильтрации. Это ослабляет, но не устраняет полностью проблему. Кроме того, инфильтрат в виде воска далеко не всегда является вредной необходимостью. Он расплавляется в опоке при выжигании первым, раньше полистирола и когда последний приобретает текучесть, способствует его выносу из формы, тем самым уменьшая массу «выжигаемой» части полистирола и снижая вероятность образования золы.

Таким образом, когда мы говорим об «умеренных требованиях к точности» при использовании SLS-технологии, имеем в виду отмеченные объективные причины, по которым точность изделий,

полученных SLS-технологий, не может быть выше, чем при использовании других технологий, не связанных с температурными деформациями. Таковой, например, является технология фотополимеризации.

Говоря об SLS-технологии, отметим еще одно, не связанное с полистиролом, но «родственное» направление, иногда используемое в литейном деле.

Это SLS-модель распределительного вала и формовочный ящик для получения выращивание литейной формовочной оснастки из порошкового полиамида. Полиамид широко используется для функционального прототипирования, полиамидные модели достаточно прочные и во многих случаях позволяют воспроизвести прототип максимально близко к «боевому» изделию. В ряде случаев оказывается экономически целесообразным применять полиамидные модели в качестве альтернативы деревянным. Модель выращивают, так же, как и полистирольную. При этом по возможности делают ее полой с минимально возможной толщиной стенок.

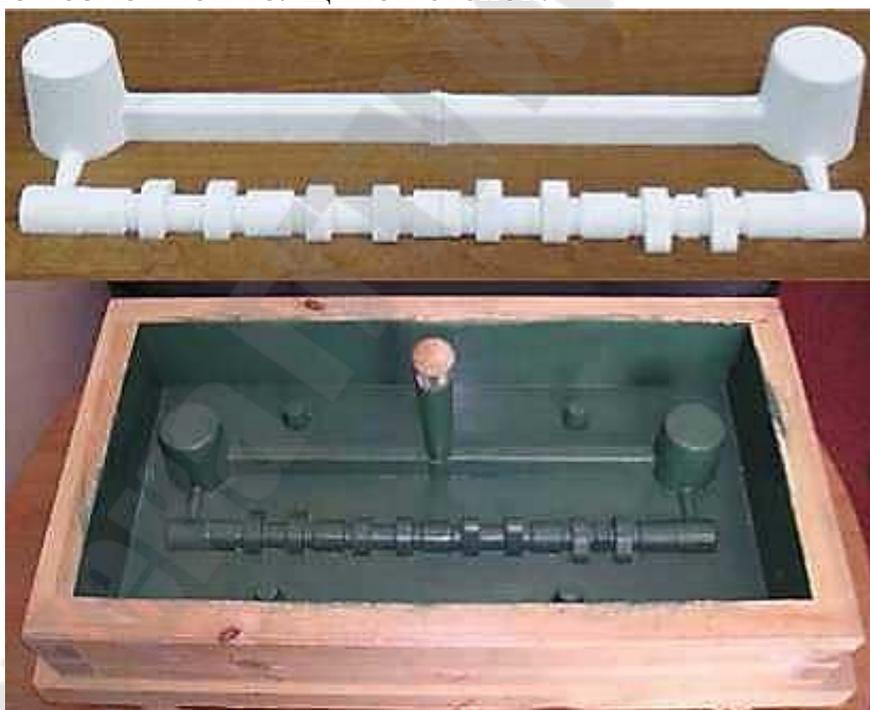


Рисунок 39 - Технологическая оснастка для формовки распределительного вала ДВС.

Затем модель для придания прочности и жесткости заполняют изнутри эпоксидной смолой. После этого закрепляют в обычном формовочном ящике, красят и далее – по традиционной технологии формования. Пример такой «быстрой» технологической оснастки для формовки распределительного вала ДВС показан на рисунке. Ввиду

большой длины модель выращена из двух частей, части склеены, заполнены эпоксидной смолой и закреплены в формовочном ящике; продолжительность операций 2 дня.

Синтез-модели из фотополимеров. Суть технологии в использовании специальных светочувствительных смол, которые отверждаются избирательно и послойно в точках или местах, куда по заданной программе подводится луч света. Способы засветки слоя различны (лазер, ультрафиолетовая лампа, видимый свет). Существует две основные технологии создания моделей из фотополимерных композиций: лазерная стереолитография или SLA-технология (от Stereolithography Laser Apparatus), или просто стереолитография – отверждение слоя посредством лазера, и «моментальная» засветка слоя – отверждение слоя фотополимера вспышкой ультрафиолетовой лампы или прожектора. Первый способ предполагает последовательное «пробегание» лазерного луча по всей поверхности формируемого слоя там, где в сечении «тело» модели. Согласно второму способу отверждение всего слоя происходит сразу же после или в процессе его формирования за счет излучения от управляемого источника света – видимого или ультрафиолетового. Различие в способах формирования слоев обуславливает и различие в скорости построения модели. Очевидно, что скорость выращивания вторым способом выше. Однако стереолитография была и остается самой точной технологией и применяется там, где требования к чистоте поверхности и точности построения модели являются основными и определяющими. Тем не менее, технологии «засветки» с заданной экспозицией, используемые, например, фирмами Objet Geometry и Envisiontec, во многих случаях успешно конкурируют со стереолитографией, оставляя за собой явное преимущество в скорости построения и стоимости моделей. Ряд производственных задач могут быть одинаково успешно решены с помощью AF-машин разного уровня. Таким образом, рациональный выбор технологии получения моделей и, следовательно, прототипирующего оборудования зачастую не является очевидным и должен проводиться с учетом конкретных производственных условий и реальных требований к моделям. В тех случаях, когда разнообразие решаемых задач является очевидным, целесообразно иметь две машины: одну для изготовления изделий с повышенными требованиями, вторую – для выполнения «рутинных» задач и тиражирования моделей.

Лазерная стереолитография

Фирма 3D Systems – пионер в области практического освоения технологий быстрого прототипирования. В 1986 г. ею впервые была

представлена для коммерческого освоения стереолитографическая машина SLA-250 с размерами зоны построения 250x250x250 мм. Основой в SLA-процессе является ультрафиолетовый лазер (твердотельный или CO₂). Лазерный луч здесь является не источником тепла, как в SLS-технологии, а источником света. Луч «штрихует» текущее сечение CAD-модели и отверждает тонкий слой жидкого полимера в местах своего прохождения. Затем платформа, на которой производится построение, погружается в ванну с фотополимером на величину шага построения и новый жидкий слой наносится на затвердевший слой, и новый контур «обрабатывается» лазером. При выращивании модели, имеющей нависающие элементы, одновременно с основным телом модели (и из того же материала) строятся поддержки в виде тонких столбиков, на которые укладывается первый слой нависающего элемента, когда приходит черед его построения. Процесс повторяется до завершения построения модели. Затем модель извлекается, остатки смолы смываются ацетоном или спиртом, поддержки удаляются. Качество поверхности стереолитографических моделей весьма высокое и часто модель не требует пост-обработки. При необходимости чистота поверхности может быть улучшена, «зафиксированный» фотополимер хорошо обрабатывается, и поверхность модели может быть доведена до зеркальной. В некоторых случаях, если угол между строящейся поверхностью модели и вертикалью меньше 30 градусов, модель может быть построена и без поддержек. И таким образом может быть построена модель, для которой не возникает проблемы удаления поддержек из внутренних полостей, что в свою очередь позволяет получать модели, которые в принципе нельзя изготовить никаким из традиционных методов (например, ювелирное изделие).

Стереолитография широко применяется для:

1. выращивания литейных моделей;
2. изготовления мастер-моделей (для последующего получения силиконовых форм, восковых моделей и отливок из полиуретановых смол);
3. создания дизайн-моделей, макетов и функциональных прототипов;
4. изготовления полноразмерных и масштабных моделей для гидродинамических, аэродинамических, прочностных и др. видов исследований.



Рисунок 40 - SLA-модель и отливка изделия «шарик», серебро

Отметим, прежде всего, в контексте литейного производства, первые два направления, которые важны для непосредственного получения литейных деталей. Для целей литейного производства применяют так называемые Quick-Cast-модели, т. е. модели для «быстрого литья».

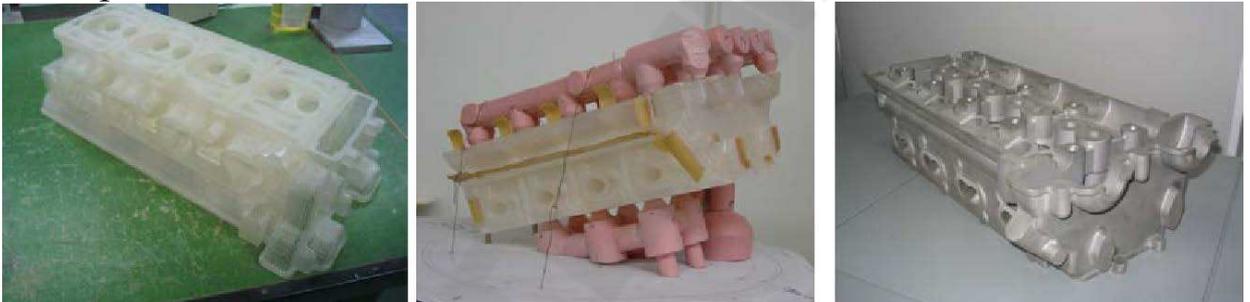


Рисунок 41 - Quick-cast модель, она же с литниковой системой и отливка головки цилиндров (Al)

Quick-cast модель, она же с литниковой системой и отливка головки цилиндров (Al)

Так называют модели, по которым по аналогии с восковыми моделями могут быть быстро получены металлические отливки. Иными словами, это модели для литья по тем же технологиям, что и восковые и полистирольные модели. Но есть важный нюанс. Модели Quick-Cast имеют сотовую структуру массива стенок: внешние и внутренние поверхности стенок выполняют сплошными, а само тело стенки формируют в виде набора сот. Это имеет большое преимущество: во-первых, существенно, на 70 % снижается общая масса модели, а, следовательно, меньше материала нужно будет выжигать при подготовке формы к заливке металлом. Во-вторых, в процессе выжигания любой модельный материал расширяется и оказывает давление на стенки формы, при этом форма с тонкостенными элементами может быть разрушена. Сотовая же структура позволяет модели при расширении

«складываться» внутрь, не напрягая и не деформируя стенки формы. Это важнейшее преимущество Quick-Cast-технологии.

Здесь же отметим, что в отдельных случаях SLA-модели, так же, как и SLS – модели, могут быть использованы не как литейные модели, а в качестве оснастки, формовочной модели, для литья «в землю». В этом случае, конечно, в конструкции модели должны быть предусмотрены литейные уклоны и радиусы для выхода модели из формы без повреждений последней.

Однако этот способ формовки используется редко из-за недостаточной прочности SLA – модели.



Рисунок 42 - CAD-модель, SLA-модель и отливка передней крышки ДВС «в землю».

Само по себе получение точной качественной модели – дело дорогостоящее, потеря же и модели, и формы, и отливки становится и еще более дорогостоящим, и драматичным, особенно когда дело касается ответственных, сложных деталей. Поэтому SLA-машины очень быстро нашли свое применение в тех узлах технологий, которые являлись критическими с точки зрения надежного получения сложных литейных изделий, в первую очередь в авиационной, военной и космической отраслях, а также в автостроении.

Второе, не по значимости, а в порядке упоминания, преимущество – это точность построения модели. Построение модели происходит в обычных условиях при комнатной температуре. Отсутствуют упомянутые выше факторы термического напряжения и деформаций. Очень малый диаметр пятна лазерного луча, 0,1–0,05 мм позволяет четко «прорабатывать» тонкие, филигранные фрагменты модели, что сделало стереолитографию весьма популярной технологией в ювелирной промышленности.

Имеется достаточно большой опыт применения технологии Quick-Cast в авиационной промышленности, в энергетическом машиностроении, некоторый опыт имеется и в научных организациях автомобильного профиля.



Рисунок 43 - SLA-модель и отливка рабочего колеса турбоагрегата.

Однако для других отраслей эта технология остается практически неосвоенной.

Основным производителем SLA-машин является американская компания 3D Systems, которая выпускает широкую гамму машин с разными размерами зоны построения, от 250x250x250 мм до 1500x570x500 мм. С техническими характеристиками машин можно ознакомиться на сайте компании www.3dsystems.com.



Рисунок 44 - Машина iPro8000 и SLA-модели.

Здесь приведены основные данные только по одной машине iPro 8000, которая достаточно активно используется в мировой промышленности для целей литейного производства.

Основные параметры SLA – машины iPro 8000				
Размер рабочей зоны, мм	Шаг построения, мм	Мах. вес модели, кг	Габаритные размеры, мм	Вес, кг
650x750x550	0,05...0,15	75	2220x1260x2280	1590

Стоимость, как первоначальная, так и владения, пожалуй, единственный недостаток этой технологии. В связи с наличием лазера эти установки относительно дороги, требуют регулярного технического

обслуживания. Поэтому, особенно в последнее время, когда появилось множество 3D-принтеров, они используются для построения особо ответственных изделий с повышенными требованиями к точности и чистоте поверхности, в первую очередь для изготовления Quick-Cast- и мастер – моделей. А для других целей, например, дизайн-макетов используют более дешевые технологии. Стоимость расходных материалов относительно высокая – 200...300 €, но сопоставима со стоимостью модельных материалов других фирм. Время построения модели зависит от загрузки рабочей платформы, а также от шага построения, но в среднем 4–7 мм в час по высоте модели. Машина может строить модели с толщиной стенки 0,1... 0,2 мм.

Технология DLP

Разработчиком данной технологии является международная компания Envisiontec, которую можно отнести к новичкам AF-рынка, свои первые машины она выпустила в 2003 г. В машинах Envisiontec семейства Perfactory применяется оригинальная технология DLP – Digital Light Procession. Суть ее заключается в формировании так называемой «маски» каждого текущего сечения модели, проецируемой на рабочую платформу через специальную систему зеркал очень малого размера с помощью прожектора с высокой яркостью света. Формирование и засветка видимым светом каждого слоя происходит относительно быстро – 3...5 секунд. Таким образом, если в SLA-машинах применяется «точечный» принцип засветки, то в машинах Envisiontec – «поверхностный», т. е. осуществляется засветка всей поверхности слоя. Этим объясняется весьма высокая скорость построения моделей – в среднем 25 мм в час по высоте при толщине слоя построения 0,05 мм. Материал поддержек – тот же, что и основной материал – акриловый фотополимер.



Рисунок 45 - Модели Envisiontec и отливки деталей ДВС, алюминий.

Модели Envisiontec используются так же, как и SLA-модели – в качестве мастермоделей и выжигаемых литейных моделей. Качество

моделей весьма высокое, однако уступает SLA-моделям по точности. В основном это связано с применением не малоусадочных эпоксидных фотополимеров, как у машин 3D Systems, а акриловых, имеющих существенно больший, почти на порядок – 0,6 %, коэффициент усадки при полимеризации. Тем не менее, преимуществом являются достаточно высокая точность и чистота поверхности, прочность, удобство в обращении при весьма умеренной (по сравнению со стереолитографией) стоимости. Несомненным преимуществом технологии Envisiontec является высокая скорость построения моделей и, следовательно, производительность RP-машины.

В последнее были проведены эксперименты, которые показали в целом хорошую выжигаемость моделей, малую зольность. Были получены кондиционные отливки автомобильных деталей как вакуумным литьем алюминия в гипсовые формы, так и атмосферным литьем чугуна в маршалитовые формы. Есть все основания считать технологию DLP весьма перспективной и эффективной для целей литейного производства и не только для НИР и ОКР. Время (с учетом подготовительно-заключительных операций) построения деталей, приведенных на рисунке – впускной трубы высотой 32 мм и ресивера высотой 100 мм составляет 1,5 и 5 часов соответственно. Тогда как на сопоставимой по размерам SLA-машине Viper (3D Systems.) такие модели строились бы не менее 5,5 – ти и 16-ти часов.

Perfactory EXEDE

Для индустриального применения представляют интерес машины серий Extrim и EXEDE. Эти машины позиционируются, как AF-машины для промышленного серийного производства мастер-моделей и моделей для литья металла по выжигаемым моделям, а также как высокопроизводительные машины для сервис-бюро, специализирующихся на оказании услуг в области аддитивных технологий. Машина Extrim имеет один цифровой прожектор с разрешением 1400x1050 пикселей, EXEDE – два прожектора. Эффективная рабочая зона построения и толщина слоя построения регулируются сменой линз оптической системы.

Особенностью машин серий **Extrim** и **EXEDE** является то, что в отличие от других технологий, здесь используется не 11 дискретное, пошаговое, а непрерывное движение платформы вниз с малой скоростью. Поэтому на моделях нет ярко выраженных ступенек, характерных для других способов построения. Модели требуют пост-обработки – удаления поддержек и в ряде случаев, как и стереолитография – дополимеризации.



Рисунок 46 - Машина серий и EXEDE/

Основные характеристики машин Envisiontec семейства Perfactory

	Размеры зоны построения, мм	Толщина слоя построения, мм	Габаритные Размеры, мм	Вес, кг
Standart	120x90x230	0,025...0,150	480x730x1350	70
Zoom	190x142x230			
Standart UV	175x131x230			
Extrim	320x240x430	0,025...0,150	810x730x2200	480
EXEDE	457x431x508	0,025...0,150	810x840x2200	520

Широкий выбор материалов для мастер-моделей, выжигаемых моделей, моделей для вакуум-формовки (выдерживающих до 150 °С), концептуального моделирования делает эти машины особенно привлекательной в тех случаях, когда требуется изготавливать большое количество и большую номенклатуру моделей в широком спектре назначения.

Технология MJM (Multi Jet Modeling) получения восковых синтез-моделей. Модели строятся на принтерах с использованием специального модельного материала, в состав которого входит светочувствительная смола – фотополимер на акриловой основе, и литейный воск (более 50 % по массе). Фотополимер является связующим элементом. Материал посредством многоструйной головки послойно наносится на рабочую платформу, отверждение каждого слоя производится за счет облучения ультрафиолетовой лампой. Принтеры ProJet CP 3000 и ProJet CPX 3000 специально разработаны для выращивания восковых моделей для точного литья металлов в гипсо-керамические и оболочковые формы. Принтеры имеют два режима построения модели – «стандартный» с разрешением (x,y,z) 328x328x700 точек на дюйм и размерами зоны построения 298x185x203 мм, и «высокоточный» Definition) с разрешением 656x656x1600 точек на дюйм на уменьшенной до 127x178x152 мм зоне построения.



Рисунок 47 - оборудование и модели технологии ProJet/

Особенностью данной технологии является наличие так называемых поддерживающих структур – поддержек. Эти поддержки строятся для удержания нависающих элементов модели в процессе построения. В качестве материала для поддержек используется восковой полимер с низкой температурой плавления, который после построения модели удаляется струей горячей воды. Модельный материал VisiJet® CPX200 и материал поддержек VisiJet® S200 содержится в виде баллонов-картриджей по 0,38 и 0,4 кг, соответственно. В принтер может быть установлено до 10 картриджей обоих видов.

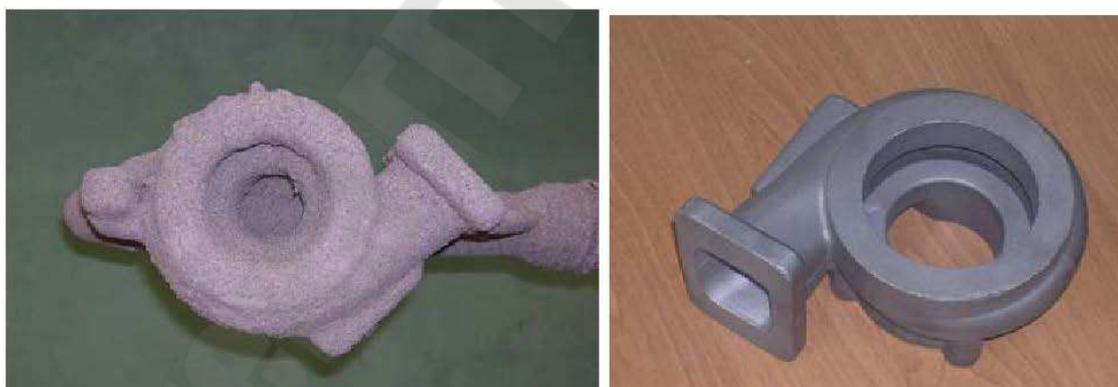


Рисунок 48 - Оболочковая форма и отливка корпуса турбины (чугун), полученные по восковой синтез-модели.

В «стандартном» режиме толщина слоя построения 36 мкм, «высокоточном» режиме – 16 мкм. Точность построения (в зависимости от конфигурации, ориентации и размеров модели) 0,025–0,05 мм на длине один дюйм. Принтер позволяет надежно строить модели с толщиной стенок до 1 мм, в отдельных случаях до 0,8 мм. Крупные модели могут быть построены частями и затем склеены.

Недостатком технологии является относительно высокая стоимость расходных материалов – более 300 \$/кг. Тем не менее, эта технология

имеет и неоспоримые преимущества – скорость получения модели и, не менее важное, высокое качество модельного материала с точки зрения собственно технологии литья по выплавляемым моделям (формовки, вытапливания модели).

7.3 От синтез-мастер-модели к отливке

Литье полиуретановых смол в силиконовые формы

Второе интенсивно развивающееся направление использования фотополимеров в литейном деле – это изготовление высокоточных мастер-моделей, как для последующего получения через силиконовые формы восковых моделей, так и для литья полиуретанов. Использование силиконовых форм оказывается чрезвычайно эффективным при штучном и малосерийном производстве восковок. При этом достигается высокое качество восковок.

Мастер-модели обычно выращивают на SLA- или DPL-установках, поскольку эти машины обеспечивают наилучшую чистоту поверхности и высокую точность построения модели. Достаточно высокое качество, чтобы быть использованными в качестве мастер-моделей, имеют и модели, полученные на 3D принтерах типа ProJet и Objet.

Мастер-модели используют для получения так называемых «быстрых форм», в частности, силиконовых форм, в которые затем производится литье полиуретановых смол или воска для последующего литья металлов. Технологии литья в эластичные формы получили широкое распространение в мировой практике. В качестве материала форм используют различные силиконы, как материал, обладающий малым коэффициентом усадки и относительно высокой прочностью и стойкостью. (Здесь «силикон» – это смесь двух исходно жидких компонентов А и В, которые при смешении в определенной пропорции полимеризуются и образуют однородную относительно твердую массу). Эластичные формы получают путем заливки мастер-модели силиконом в вакууме. Мастер – модель располагают в обычно деревянной опоке, опоку помещают в вакуумную литейную машину, где предварительно в специальной емкости производят смешение компонентов А и В, затем силикон выливают в опоку.



Силиконовая форма (вверху), мастер – модель (внизу слева), восковая модель (в середине), металлическая отливка (справа)

Рисунок 49 – Стадии изготовления мастер-модели.

Вакуум применяют с целью удаления воздуха из жидких компонентов и обеспечения высокого качества формы и отливок. После заливки в течение 20 -40 мин. силикон полимеризуется. В комплект поставки оборудования для вакуумного литья, как правило, входит собственно вакуумная машина (одно- или двухкамерная) и два термошкафа: один для хранения расходных материалов при температуре около 35 °С, второй, – для выдержки форм, в котором поддерживается температура около 70 °С; он используется для предварительной термоподготовки силиконовой формы и литейных материалов непосредственно перед заливкой. После заливки полиуретановой смолы форма возвращается в эту печь, где происходит полимеризация смолы в оптимальных условиях. Поэтому размер второго термошкафа должен соответствовать размерам вакуумной камеры машины. Используя специальные технологические приемы, форму разрезают на две или несколько частей, в зависимости от конфигурации модели, затем модель извлекают из формы.

Обычно стойкости формы – 50 -100 циклов, что вполне достаточно для изготовления отливок опытной серии деталей. Эти технологии оказались весьма эффективными для производства опытно-промышленных партий и малосерийной продукции, характерной для авиационной, медицинской и приборостроительной отраслей. Широкий спектр как силиконов, так и полиуретановых смол позволяет изготавливать отливки с ударо- и термостойкими свойствами, различной жесткости в разнообразной цветовой гамме. Современные предприятия,

изготавливающие отливки по выплавляемым моделям, обычно имеет в составе технологического оборудования АФ-машину для выращивания мастер-моделей и машину для вакуумного литья в силиконовые формы.

МТТ 4/04	
Габаритные размеры, мм	1930x1510x900
Макс, размеры формы, мм	750x900x750
Объем заливки, дм ³ / кг	2,2/2,0 или 5,5/6,0



Рисунок 50 –Литейная машина МТТ.

Литье металлов

Для изготовления металлических отливок в условиях НИИ и опытного производства широкое применение имеют системы вакуумного литья цветных металлов.

Вакуумная машина МРА 1000 (МТТ Technologies) с объемом тигля 10 л для литья цветных металлов. Ключевым звеном в таких системах, естественно, является литейная машина. Обычно, учитывая условия опытного производства, это компактные машины с объемом тигля 3–20 л. Как правило, система вакуумного литья включает:

1. машину для вакуумного литья;
2. прокалочную печь для вытапливания восковых и выжигания полистирольных моделей и прокалки опок;
3. каталитический конвертер (для нейтрализации газов от прокалочных печей);

4. вакуумный миксер для приготовления и заливки формовочной смеси);
5. размывочную машину;

В литейных машинах используют графитовый или керамический тигель и обычно в них предусмотрен режим «поддавливания» металла аргоном после заливки (до 2 бар). Температура расплава до 1200 °С. Типовыми литейными цветными металлами являются: латуни, медь, бронзы, алюминиевые и бериллиевые сплавы, драгметаллы, в отдельных случаях магниевые сплавы. Заливка формовочной смеси и литье металлов производится в вакууме, что обеспечивает хорошее качество формовки, радикально снижает вероятность образования газовых пор и рыхлот в отливке



Рисунок 51 - Вакуумная машина МРА 1000.

При использовании соответствующих формовочных смесей и соблюдении технологических требований данное оборудование обеспечивает высокое качество поверхности отливок, на уровне Rz 20–40.



Литейная машина

Прокалочная печь

Вакуумный миксер

Размывочная машина

Рисунок 52 – Оборудование литейной технологии.

В последние годы на рынке появились достаточно надежные и качественные машины лабораторного типа для вакуумного литья сталей и титана (например, ALD, ProfiCast, TopCast) Ряд компаний (МК-Technology, МТТ-Technologies, ProfiCast и др.) традиционно работают в содружестве с фирмами-производителями АF – оборудования и в параметрах своей продукции учитывают соответствующие нюансы.



Рисунок 53 - Машинa SGA 3500.

Оборудование, позволяет существенно повысить производительность и улучшить условия труда, при этом обеспечивая максимально эффективную работу с модельными материалами, используемыми в АF-технологиях.

В частности, фирма ProfiCast производит вакуумную машину SGA 3500 с индукционным нагревом для литья конструкционных и нержавеющей сталей. Машинa выполнена по схеме с опрокидывающимся (поворотным) тиглем объемом 3,5 л. Оборудована тактильным дисплеем, программатором, системой адаптации для точной установки параметров нагрева для плавки различных видов стали. Закладка брусков стали в тигель производится через открытую верхнюю крышку, а установка опоки с формой – через боковую дверцу вакуумной камеры, расположенной под тиглем. Высота опоки до 500 мм. Макс, температура заливки 1750 °С. Металл может быть слит в одну или поочередно в несколько форм.

Машинa “Cyclon” фирмы МК-Technology. Предназначена для получения маршалитовых, электро-корундовых и т. д. форм, используемых при литье по выплавляемым моделям. Восковые или полистирольные модели окунают в формовочную суспензию, которая смачивает модель и формирует тонкий слой жидкости на поверхности

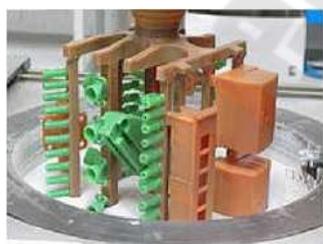
модели. Затем модель обсыпают порошкообразным термостойким материалом и просушивают. Процесс повторяется несколько раз и, в конечном счете, модель оказывается заключенной в огнеупорном «коконе» – оболочке, которую затем устанавливают в прокалочную печь



Рисунок 54 - Машина “Cyclon”

и из которой вытапливают или выжигают модель, получая таким образом форму для последующей заливки в нее металла.

Машина “Cyclon” выполняет все эти операции в автоматическом режиме. При создании оболочковой формы используется суспензия на водной основе. К преимуществам машины относятся: сокращение времени создания оболочковой формы в 10–20 раз по сравнению с ручным способом формовки; уменьшение расхода формовочных материалов на 25 %; улучшение газопроницаемости формы; увеличение прочности оболочки. Максимальный размер форм 500x500x500 мм, вес до 15 кг. Габариты машины 4600x1450x3750 мм.



Смачивание



Обсыпка



Просушка слоя



Готовые формы

Рисунок 55 – Элементы технологии “Cyclon”.

Для ускорения процесса приготовления оболочковых форм используется специальная сушильная машина – Booster (МК-Technology), которая может быть легко интегрировано в существующую

технологическую линию. Booster позволяет получать пригодные для заливки металла формы в течение одного рабочего дня. Максимальный размер оболочковой формы 800x800x1000 мм, габаритные размеры машины 1900x3500x1850 мм, масса 1600 кг.

7.4 Технологии синтеза песчаных литейных форм

Литейные формы – это отдельный и большой раздел АF-технологий. В последние годы динамичное развитие получило направление непосредственного выращивания песчаных форм для литья металлов, а также выращивание металлических изделий, в частности, пресс-форм для литья пластмасс. Здесь, как нигде, в полной мере находит практическое воплощение принцип «безбумажных технологий» – производство изделия в принципе не нуждается в сопровождении посредством традиционной бумажной документации в виде чертежей, технологических карт и т. д. Меняется и традиционный подход к кадровому обеспечению работ. Конструктор и технолог работают не последовательно, а параллельно и зачастую конструктор выполняет функцию технолога, создавая параллельно с САD-моделью детали САD – модели технологической оснастки для литья детали.

Для производства песчаных литейных форм используется две АF-технологии:

1. послойное спекание плакированного песка лазерным лучом (фирма EOS);
2. послойное нанесение связующего состава или Inkjet-технология (ProMetal).

Первая технология – это разновидность упомянутой выше SLS-технологии, с той лишь разницей, что в качестве модельного материала используется литейный (силикатный или циркониевый) предварительно плакированный полимером песок. После спекания получается так называемая «грин-модель» (в смысле – «сырая»), которая требует весьма аккуратного обращения при очистке. Для облегчения этого процесса, очищенные места сразу же обрабатывают пламенем газовой горелки, 16 закрепляя их таким образом. После очистки фрагменты формы помещают в прокалочную печь и окончательно (при температуре 300–350 °С) отверждают массив формы.

Вторая технология похожа на MJM-технологию с той разницей, что на рабочую платформу впрыскивается не строительный материал, а связующий состав. Строительный же материал (литейный песок) подается и разравнивается на рабочей платформе послойно с шагом 0,2–

0,4 мм аналогично SLS-системам. В этом случае дополнительной термообработки формы не требуется.

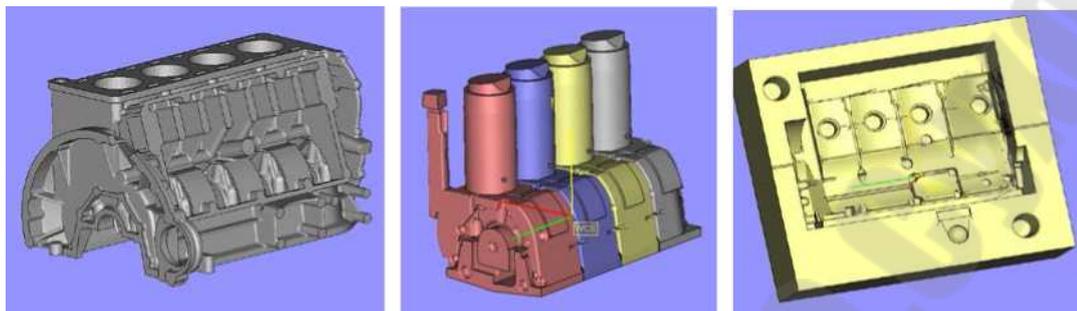


Рисунок 56 - CAD модели блока цилиндров и фрагментов песчаной формы.



Рисунок 57 - Выращенные фрагменты формы (ProMetal), форма в сборе и отливка блока (чугун)

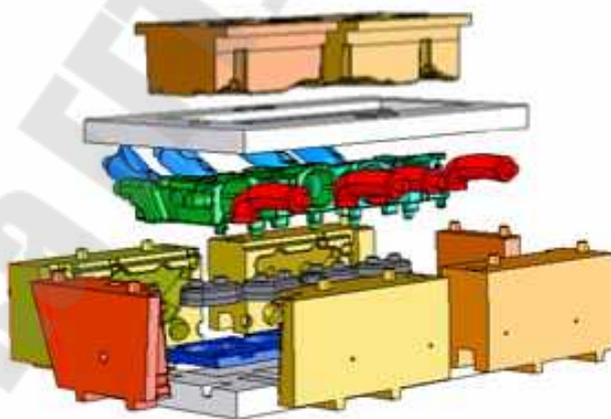


Рисунок 58 - Выращивание формы на SLS-машине

Независимо от метода построения собственно формы, алгоритм действий CAD-модели практически одинаков. Коротко последовательность операций выглядит следующим образом. Создается CAD-модель изделия; назначаются припуска на обрабатываемые поверхности; согласно рекомендациям технолога проектируется литниковая система, которая сочленяется с основной CAD-моделью, получают технологическую CAD-модель, модель масштабируют в соответствии в коэффициентом усадки литейного материала; создается модель (будущего) песчаного блока – обычно в виде параллелепипеда,

куда заключена технологическая CAD – модель; этот блок разрезается на несколько частей в зависимости от размеров рабочей камеры AF-машины; создаются негативы – «отпечатки» технологической модели в песчаном блоке или его фрагментах; таким же образом методом вычитания создаются модели стержней; в завершение процесса проектирования создаются stl – файлы формы. Далее – дело техники, а именно технологической AF-машины, которая строит фрагменты формы. После завершения построения фрагменты песчаной форма с известными предосторожностями собирают: стыкуют, герметизируют швы, устанавливают холодильники и т. д. Затем – собственно заливка металла.

Машины, синтезирующие песчаные формы. Машины ProMetal отличаются высокой производительностью и предназначены для целей НИОКР и промышленного использования в производстве не только штучной, но серийной продукции. Самая большая из них ProMetal S-MAX имеет рабочую зону построения 1500x750x700 мм, контейнер емкостью 800 л, шаг построения 0,2–0,4 мм и скорость построения моделей 12...28 мм/ч по высоте, на формирование слоя необходимо около 40 с. Для выработки всего объема при непрерывной работе машины требуется два дня. Машина чувствительна к качеству песка – размер частиц не должен превышать 140 мкм.

Основные характеристики машин ProMetal



Сборка формы

Отливка (алюминий)

Рисунок 59 – Работа с песчаными формами.

Основным преимуществом машины является возможность строить за одно целое относительно габаритные формы и стержни. Производительность машины также является существенным преимуществом, в особенности для условий промышленного применения. Стоимость машины весьма значительна, превышает 1 млн. евро.

	S-print	S15	S-Max
Размеры зоны построения, мм	750x380x400	1500x750x700	1800x1000x700
Толщина слоя построения, мм	0,2...0,4	0,2...0,4	0,28-0,5
Скорость построения, мм/ч	12...28	14...20	12...25
Производительность, см ³ /ч	7500	15 000	59400... 108000
Габаритные размеры, мм	2820x2440x2160	3113x3354x2164	7000x3586x2860
Вес, кг (основн. модуль)	2500	3500	6500

В машине EOS S 700 используется SLS-технология. Она не столь быстрая, но более «деликатная», может строить филигранные фрагменты формы размерами до 1 мм. Рабочая зона построения 720x380x380 мм, шаг построения 0,2 мм, точность построения 0,3 мм (на длине 720 мм). Габаритные размеры 1420x1400x2150 мм. Для увеличения скорости работы в машине используется система с двумя лазерами. Машина



Рисунок 60 – Машина EOS S700.

отверждает до 2500 см³ песка в час (для сравнения: ProMetal – 7500 см³/ч). Несмотря на определенные недостатки, связанные с большей трудоемкостью получения моделей и меньшей производительностью машины, она обладает несомненным преимуществом по точности построения моделей и чистоте поверхности. На ней могут быть изготовлены формы и стержни,

Песчаные формы и отливки (EOS) по сложности недоступны другим технологиям. Эти машины применяются там, где существуют заведомо повышенные требования к точности литья и чистоте поверхности отливок. Существенным преимуществом является и то, что расходным материалом является недорогой литейный песок,

плакирование которого не представляет трудностей и может быть произведено непосредственно на месте установки машины.



Рисунок 61 – Образцы продукции.

7.5 Технологии синтеза металлических изделий и форм для литья металлов и пластмасс

Важное место в АФ-технологиях занимают технологии непосредственного выращивания деталей, в частности, пресс-форм из металла. В англоязычной литературе эти технологии получили название Direct Manufacturing или Direct Metal Fabrication. Суть технологии заключается в последовательном «склеивании», спекании или сваривании слоев порошкового металла.

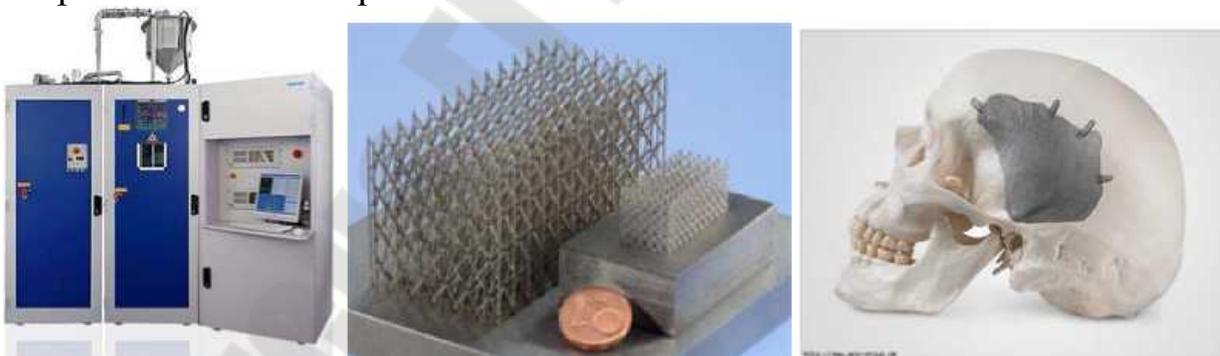


Рисунок 62 - АФ машина Realiser SLM 250 и образцы изделий из титана.

Применяют две технологии формирования модели при построении – лазерную (спекание, сплавление) и технологию Inkjet, согласно которой слой фиксируется с помощью специального состава, впрыскиваемого на поверхность порошкового металла через многоструйную подвижную головку (по типу 3D-принтера). Иногда, как например фирма 3D Systems, сначала посредством лазерного спекания получают так называемую «грин-модель», которую затем пропитывают (инфильтруют) расплавленной бронзой. Но в последнее время с развитием лазерной

техники все большее распространение получают технологии (EOS, Arcam, MTT Technologies, ConceptLaser, Realizer и др.) непосредственного сплавления слоев порошкового металла без последующей инфильтрации. Номенклатура применяемых материалов весьма широкая: конструкционные и инструментальные стали, титан-алюминиевые композиции, кобальт-хром, инконель, драгметаллы. Совершенствование лазерных технологий, использование нанотехнологий для получения мелкодисперсных порошковых композиций металлов позволило выращивать полностью функциональные металлические детали с механическими свойствами литых деталей, изготовленных традиционными методами. Более того, AF-технологии позволили изготавливать детали с конфигурацией, которую в принципе невозможно выполнить традиционными методами, например, неразъемные пресс-формы с внутренними каналами охлаждения. Для целей литейного производства эта технология представляет несомненный интерес, в частности, для изготовления литейной оснастки – форм, как для получения восковых моделей в серийном производстве или отливок из пластмасс, так и для непосредственного литья металлов (кокили, формообразующие литейной оснастки).

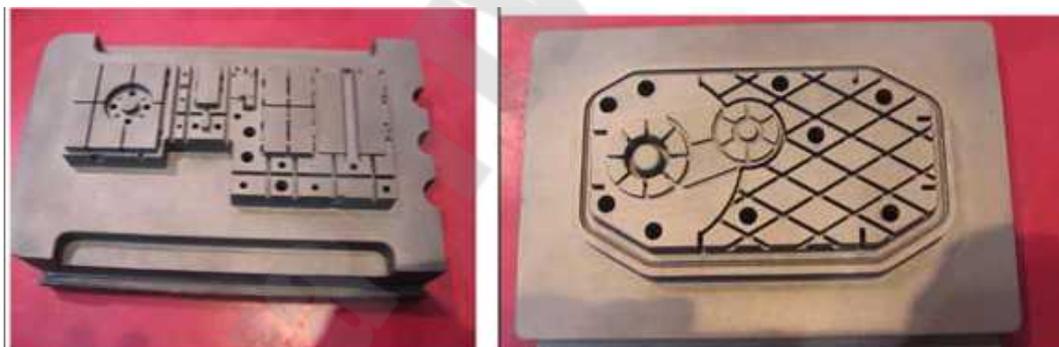


Рисунок 63 - Синтезированные металлические вставки для литья деталей из пластмассы (3D Systems)



Рисунок 64 - Машина EOS EOSINT M 270 и образцы выращенных металлических изделий

7.6 Аддитивные технологии, литейное производство и порошковая металлургия

В данном разделе речь пойдет о новых технологиях с еще неустоявшейся терминологией, находящихся на стыке разных традиционных технологий, и которые невозможно отнести к какой-либо из них. Имеется в виду, в частности, так называемая технология *Spray forming*. Она объединяет в себя и литейные знания, поскольку имеет место плавка металла, и технологии распыливания металла, а это сфера знаний порошковой металлургии, и знания по металлографии, а это вопросы общего металловедения, при этом в конечном итоге мы получаем то же, что и при литье в изложницу – заготовку, но это не просто заготовка: она также получается посредством послойного синтеза, что и роднит технологию *spray forming* с АФ-технологиями.

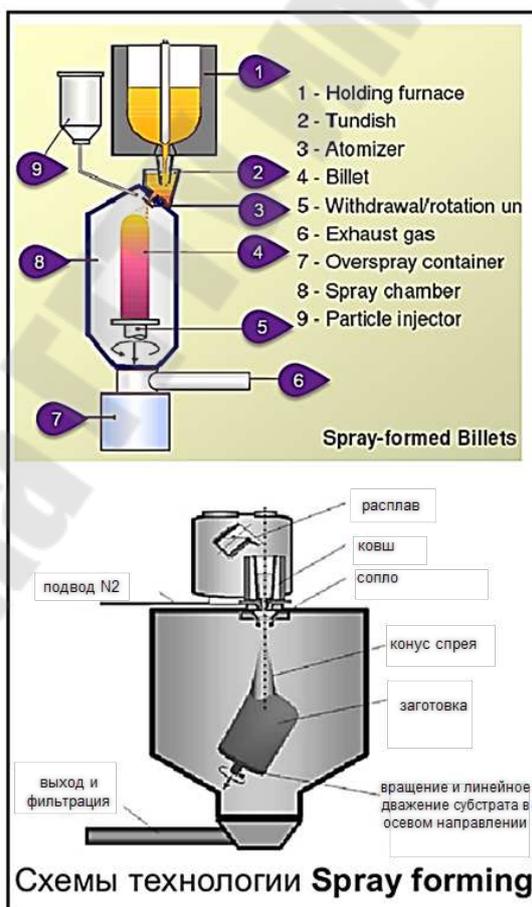


Рисунок 65 - Схемы технологии *Spray forming*

Spray forming – относительно новая технология получения заготовок из конструкционных и специальных сплавов посредством распыления (атомизации) металла, предложена в 1970 году проф. Singer

(Swansea University, Великобритания). Суть технологии заключается в послойном напылении металла на подложку и «выращивании» болванки (заготовки) для последующей механообработки. Металл расплавляется в плавильной камере и затем посредством специального сопла распыляется потоком инертного газа, частички металла (размером 10–100 мкм) осаждаются на подложку, формируя таким образом массив болванки. В отличие от литой заготовки, полученной простым сливом металла в изложницу, болванки, изготовленная методом *spray forming*, имеет высокую однородность микро- и макроструктуры материала. Технология «*Spray forming*» разработана в первую очередь для изготовления ответственных деталей аэрокосмического назначения из специальных сплавов с повышенными требованиями. Однако она нашла коммерческое применение и в серийном производстве, в частности, для изготовления гильз цилиндров из сплава AL-Si для двигателей автомобилей Мерседес. Данная технология успешно применяется для получения заготовок из сплавов, склонных к ликвации при кристаллизации, в частности, медь-содержащих сплавов, используемых для производства суперпроводников (CuSn), высокопрочных инструментов (CuMnNi, CuAlFe) для нефтедобывающей и горнорудной промышленности.

К недостаткам следует отнести относительно высокие потери материала – до 20 %, при атомизации и осаждении металла на подложку и относительную сложность управления процессом, требующим высоких профессиональных навыков персонала. К особенностям процесса следует отнести наличие микропор в структуре материала, появление которых связано с захватом молекул газа при атомизации и осаждении частичек металла и с «неплотным» спеканием частиц друг с другом при кристаллизации. Пористость металла устраняют посредством горячего изостатического прессования (HIP) и последующей обработки давлением – прокатки иликовки.



Рисунок 66 - Цилиндрическая заготовка, полученная методом *Spray forming*

Платформа с подложкой, на которой «выращивается» заготовка может совершать возвратно-поступательное движение – тогда получается заготовка в виде ленты, или вращательное движение относительно оси потока распыливаемого металла – для получения цилиндрической заготовки в виде болванки, или вращательное движение относительно оси, перпендикулярной оси потока – для получения заготовки типа «кольцо» или «труба».

Технология spray forming открывает широкие возможности для создания так называемых градиентных материалов (с переменными по сечению физикохимическими свойствами), которые могут быть получены путем послойного нанесения различных материалов через два (или более) распылительных сопла.

В связи с развитием и повышением технического уровня прототипирующих машин может представлять интерес практическое применение технологии Spray forming для получения изделия путем напыления металла на керамическую модель (реплику). Суть технологии в следующем. По CAD-модели на прототипирующей машине, например SLA-установке, выращивается стереолитографическая мастер-модель. По ней изготавливается силиконовая или RIM-форма, в форму заливают жидкую керамику и получают керамическую модель-реплику, которую затем устанавливают в Sprayforming-машину, где на керамическую модель послойно напыляют расплавленный металл. Таким образом получают «слепок» с керамической реплики. После механической обработки (удаления облоя и обработки в размер по посадочным поверхностям) получают конечное изделие. Наиболее интересна эта технология для получения пресс-форм и технологической оснастки вообще.

Компания RSP Tooling (RSP – Rapid Solidification Process, www.rsptooling.com, США) является разработчиком нового способа изготовления инструментальной оснастки с использованием технологии Spray forming. Машина RSP представляет собой сочетание плавильной машины и атомайзера (устройства для распыливания). Металл (различные сплавы широкого спектра) плавится в тигле в инертной атмосфере и под давлением направляется к распылительному соплу, где посредством струи азота происходит мелкодисперсное дробление жидкого металла и быстрое отверждение частиц. Около 70 % частиц «долетают» до керамической модели уже в твердом состоянии, остальные 30 – в полужидкой фазе. Оставшегося тепла достаточно, чтобы связать (сварить) между собой все частицы.

Исследования показали, что металл имеет более однородную и мелкозернистую структуру с менее выраженной сегрегацией, чем при литье. Частицы металла налипают на керамическую модель, формируя тело «слепок». Платформа, на которой закреплена керамическая модель, имеет возможность перемещения в пространстве рабочей камеры машины и оператор, поворачивая платформу, обеспечивает равномерное нанесение металла. После завершения процесса и остывания в течение полутора-двух часов керамическая модель извлекается из металлического «слепок» и производятся стандартные технологические операции: механо- и термообработка.

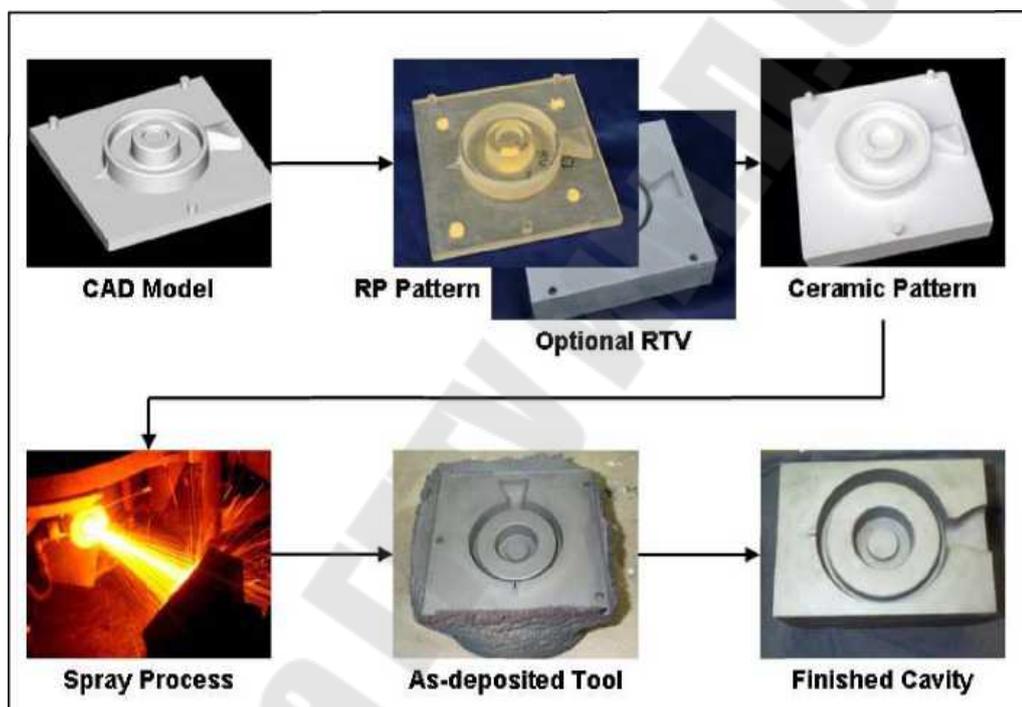
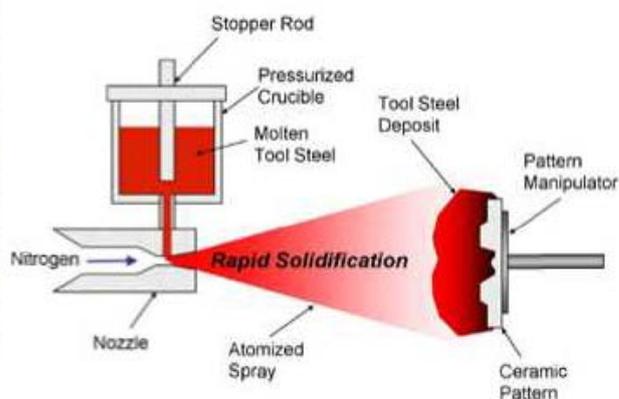


Рисунок 67 - Технология Spray forming



RSP-машина

Рисунок 68 – RSP машина.



Машина RSP может изготавливать детали с максимальными размерами 180x180x100 мм. Продолжительность рабочего цикла 3–4 часа. Таким образом, в течение одного рабочего дня может быть изготовлено 2–4 изделия. Одним из преимуществ данной технологии является возможность получения биметаллических композиций.

Например, рабочая часть кокиля формируется из специальной стали, а тело из обычной недорогой стали или цветного металла с повышенной интенсивностью теплоотдачи. Данная технология пока не вышла на уровень коммерческого применения, но представляет несомненный интерес.

Сплавы Al-Zn-Cu-Mg традиционно относятся к высокопрочным материалам, однако дальнейшее улучшение их прочностных характеристик сдерживается макросегрегацией, возникающей в заготовке, получаемой литьем. Технология spray forming ослабляет эти проблемы. Сплав 7XXX, полученный новым способом, показал более высокую ударную вязкость и усталостную прочность, чем кованный алюминий. Одним из ограничений в применении сплавов Al-Li является анизотропия у деталей, изготавливаемых из литых заготовок. Сплав, полученный по технологии spray forming с увеличенным содержанием лития, имеет улучшенную изотропию, экспериментально показано отсутствие проблем с растрескиванием отливки и макросегрегацией, которые имеют место при получении заготовки литьем. Получен сплав с содержанием лития 4 % по весу, имеющий плотность 2,4 г/куб. см и с удельной жесткостью на 30 % выше, чем у обычных алюминиевых сплавов. Были также получены сплавы Al-Cu-Mg-X с улучшенными по сравнению с литейными сплавами прочностными свойствами и износными характеристиками при повышенных температурах.

Одним из самых важных достоинств данной технологии является возможность создания новых материалов с уникальными свойствами, а также разнообразных покрытий. Получены композиционные материалы (ММС, metal matrix composite), в которых матричная основа усилена керамикой до 15 % по объему, и которые показали повышенную жесткость и сопротивление износу. Эти материалы изготовлены путем вдувания частиц керамики в распыленный поток металла в процессе осаждения металла по технологии spray forming. Получен уникальный материал Al-Si с содержанием кремния 70 % по весу, такой сплав невозможно получить методами литья из-за катастрофического охрупчивания вследствие выпадения крупных зерен кремния при кристаллизации и засорения оксидами.



Рисунок 69 - Примеры деталей авиадвигателя, полученные с использованием технологии «Spray forming»

Вариацией соотношения кремния и алюминия могут быть получены сплавы с заданным коэффициентом термического расширения



Установка «Spray forming» Оксфордского университета, (до 80 кг по Al)

Рисунок 70 - Установка «Spray forming» Оксфордского университета, (до 80 кг по Al).

(постоянным в широком диапазоне температур), которые имеют большие перспективы применения в микроволновых устройствах и пленочных радиаторах, использующихся в телекоммуникационных системах, аэрокосмической и оборонной промышленности.

Европейскими лидерами в освоении технологий «Spray forming» являются компании Sandvik Osprey (Великобритания,

www.smt.sandvik.com), которая также занимает передовые позиции по выпуску порошковых металлов и оборудования для их производства, и немецкая фирма ALD, специализирующаяся на выпуске литейного оборудования, вакуумных печей и технологического оборудования для термообработки и порошковой металлургии.

В США ведущие позиции в этой области занимают General Electric, Teledyne Allvac (www.allvac.com), а также компания Sprayform Technologies International – совместное предприятие Pratt & Whitney и Howmet, разработавшая технологию получения пре-форм (заготовок) турбинных дисков диаметром до 1400 мм.

Фундаментальные исследования и разработки по практическому использованию возможностей технологии Spray forming активно ведут также: U.S. Navy Labs, Pennsylvania State University, University of California at Irvine (США), Applied Research Labs, Advanced Institute of Science and Technology (Ю. Корея), National Cheng Kung University (Тайвань), IPEN (Бразилия), Oxford University Centre for Advanced Materials and Composites (Великобритания), Inner Mongolia Metals Institute (Китай), Bremen University (Германия), Katholieke Universiteit Leuven (Бельгия).

В Европе на трех заводах по технологии spray forming производится более 3000 т/г заэвтектического сплава Al-Si. Компания Spray Steel производит до 4000 т/г заготовок из сталей различного назначения, из которых, в частности, фирма BOHLER – UDDEHOLM AG (Австрия) изготавливает металлорежущий инструмент.

Большие перспективы данная технология имеет для создания новых конструкционных наноструктурных материалов, в частности, для дальнейшего развития отечественной технологии ИПД – интенсивной пластической деформации. Известно, что ИПД методом, например, равноканального углового прессования – РКУП, уже сейчас позволяет получать массивные наноструктурные заготовки размерами до 085 и длиной до 300 мм, пригодные для использования в машиностроении. При реализации РКУП заготовка неоднократно продавливается в специальной оснастке через два пересекающихся под углом 90 градусов канала с одинаковыми поперечными сечениями (при комнатной или повышенной температурах, в зависимости от деформируемого материала). «Наноструктурность» материала получают за счет деформации сдвигом. Наноструктурные материалы, вследствие очень малого размера зерен, содержат в структуре большое количество границ зерен, которые играют определяющую роль в формировании их необычных физических и механических свойств. При «традиционных» методах упрочнения – прокатке, волочении, ковке повышение прочности

материала, как правило, сопровождается уменьшением его пластичности. Наноструктурированные за счет ИПД материалы имеют высокую прочность и уникальную пластичность. Для формирования наноструктур методом ИПД весьма важными являются не только число проходов, но и однородность исходного массива, равномерность распределения веществ, составляющих сплав, по объему исходного материала. Технология *spray forming* позволяет получить хорошо подготовленный для ИПД материал.



Рисунок 71 – Схема процесса РКУП

Интересным и перспективным направлением использования наноматериалов является подшихтовка ультрадисперсных порошков в распыливаемый расплав основного, матричного металла. Такой метод дает возможность создания уникальных сплавов с *равномерным* включением в объемную структуру металла наночастиц различных материалов – металлов, включая редкоземельные, оксидов и пр.

Здесь же приведем некоторые данные об оборудовании – атомайзерах, с помощью которого могут быть реализованы проекты с использованием технологии *spray forming*.

Процесс распыливания металла (и получения порошка) – атомизация (от англ. *atomization* – распыление) различен в зависимости от исходного металла. Обычно атомайзер содержит плавильную камеру, где в условиях вакуума или инертной среды производят расплав металла, и распылительную камеру, где струю расплавленного металла,

вытекающую из плавильной камеры, разбивают на мелкие капли с помощью высокоскоростного потока аргона, воздуха или водяного пара в зависимости от исходного металла и требований к форме частичек порошка. Конструкция машин позволяет получать металл в слитках (слив в изложницу), либо в виде порошка, либо в виде spray forming-заготовки. Слитки получают для последующей обработки давлением (прокат,ковка) и проведения необходимых исследований. Владение такой техникой, кроме возможности проводить широкий круг научно-исследовательских работ в области создания перспективных технологий и материалов, снимает зависимость исследователей от поставщиков металлических порошков, позволяет создавать в требуемом количестве «свои» порошки для решения конкретных задач, а также обеспечивать расходными материалами АФ-машины для послойного синтеза.

Плавильно-распылительная машина Hermiga 100/10 VI (Phoenix Scientific Industries Ltd., Великобритания) – атомайзер, лабораторно-исследовательская машина с донным сливом и с газовым (аргон) распылителем для получения порошков спецсталей, титановых сплавов и заготовок методом spray forming. Машина используется главным образом в целях НИОКР в НИИ и университетах для проведения исследований в области металлургии, для получения небольших слитков металлов и их сплавов для дальнейших физикохимических исследований, отработки технологии литья и механообработки материалов и т. д., а также для получения небольших партий порошковых металлов для целей общих задач порошковой металлургии. Машина имеет относительно небольшие размеры – 2100х3200х2400 мм, вес 2500 кг, что важно при инсталляции в стесненных лабораторных условиях, типичных для университетов и НИИ. Машина может также выполнять функцию «поставщика» расходных (строительных) материалов для аддитивных машин, для выращивания изделий (в частности, литейных форм) из металлических порошков. Получаемый порошок имеет сферическую геометрию частиц. Скорость охлаждения при атомизации от 10^3 до 10^6 К/с. Модель Hermiga 100/10 VI имеет легкоъемный тигель емкостью 10,0 кг по стали. Дисперсность порошка варьируется от 10 до 100 мкм. Порошок может быть дополнительно разделен на отдельные фракции с помощью стандартных вибросит. Широкий спектр расплавляемых металлов, включая пиррофорные сплавы и сплавы редкоземельных металлов. При получении алюминиевых порошков с целью снижения опасности взрыва предусмотрено регулируемое пассивирование. Как опция – атомизация в воде для получения металлических гранул. В линейке оборудования фирмы PSI имеются также модели Hermiga 75/5 VI, Hermiga 100/25VI (все с донным сливом),

Hermiga 100/50V21, Hermiga 120/100 V21, Hermiga 100/200 V21 (все с поворотным тиглем), которые имеют емкость тигля по стали, соответственно, 5, 25, 50, 100 и 200 кг и являются машинами для мало – и среднеосерийного производства металлических заготовок и порошков.



Рисунок 72 - Плавильно-распылительная машина Hermiga

Компания Atomising Systems Ltd (Великобритания) специализируется на выпуске оборудования для атомизации металлических и неметаллических материалов различными технологиями:

1. распыление водой;
2. распыление инертным газом;
3. ультразвуковое распыление;
4. центробежное распыление.

Компания имеет богатый опыт в производстве оборудования, в частности, для получения порошков легкоплавких материалов, из которых изготавливаются разного рода припои для электронной промышленности. В линейке оборудования имеются как лабораторные атомайзеры, на которых можно получать 1–5 кг порошка в день, так и промышленные установки производительностью более 5 т/день.

Лабораторный атомайзер ALD VIGA1-B (ALD GmbH, Германия) для получения порошков стали и сплавов. Машина предназначена для получения небольших количеств порошков различных конструкционных сталей, никелевых сплавов, кобальта, меди и др. методом **VIGA – vacuum induction melt inert gas atomization**. Имеет тигель объемом около 1,0 л с донным сливом. Стандартная конструкция вакуумной установки для распыления инертным газом (**VIGA**) включает печь для вакуумного индукционного плавления (**VIM**), где сплавы плавятся, очищаются и проходят дегазацию. Очищенный расплав сливается по предварительно нагретому желобу в газовую форсунку, где

металл распыляется струей инертного газа под высоким давлением. Полученный металлический порошок затвердевает в полете в башне, расположенной прямо под распылительной форсункой.



Рисунок 73 - Лабораторный атомайзер, принцип работы.

Смесь порошка и газа транспортируется по трубопроводу в циклонную установку, где крупные и мелкие фракции порошка отделяются от распылительного газа. Металлический порошок собирается в герметичные контейнеры, расположенные под циклонной установкой. Конфигурация машины обычно согласовывается с заказчиком с учетом конкретных условий инсталляции. В качестве опции предусмотрено оснащение атомайзера функцией *spray forming*.

Лабораторный атомайзер ALD EIGA имеет также как и машины PSI возможность слива металла в изложницу или получение металлических порошков методом распыления в струе аргона. В установках EIGA (Electrode induction guide inert gas atomization – индукционная плавка электрода с распылением газом) прутки после предварительной плавки в форме электродов проходят индукционную плавку и распыляются без использования плавильного тигля. Плавление производится опусканием медленно вращающегося электрода в кольцевой индуктор. Капли металла скапывают с электрода в систему форсунок и распыляются инертным газом. Типичными материалами, получаемыми по технологии без использования керамики, являются тугоплавкие и активные

материалы, например Ti, TiAl, FeGd, FeTb, Zr и Cr. Она может также использоваться для многих других материалов. Лабораторный вариант машины EIGA имеет тигель до 5 кг по титану, скорость распыливания около 0,5 кг/с. Машина может быть оснащена функцией spray forming для «выращивания» болванок диаметром до 50 мм и длиной до 500 мм.

Компьютерная томография для измерений и неразрушающего контроля литых и металлопорошковых изделий

Для целей НИР, в частности, металлургических исследований, дефектоскопии и широкого круга инженерных задач вообще большой интерес представляют системы компьютерной томографии, позволяющие «увидеть» внутреннюю структуру изучаемого объекта. В контексте данной работы, делающей акцент на технологическом обеспечении в первую очередь НИОКР посредством аддитивных технологий, томографы представляют особый интерес для отработки технологии литья ответственных изделий с техники позволяет оперативно исследовать проблемные места в отливке, объективно оценить степень их важности, провести варианты исследования литниковой системы, режимов пред- и пост-обработки отливки и таким образом в сжатые сроки отработать бездефектную технологию получения литых изделий. Современные системы компьютерной томографии позволяют идентифицировать объекты (поры, раковины, включения и т. д.) с высоким разрешением, получать по сути трехмерный скан детали.

По томограмме можно получить наглядное изображение и любого сечения объекта, и 3-х мерной модели в целом, которая также может быть сопоставлена с исходной САД-моделью. Важным параметром системы является размер пятна фокуса при фокусировании рентгеновских лучей. Чем меньше его размер, тем выше разрешение системы, тем более четкое и достоверное изображение проецируется на детектор. В современных системах для промышленных задач размер пятна фокуса составляет 200 и менее нанометров (0,2 мкм), что позволяет создавать томографы для достаточно габаритных объектов, таких как блоки и головки цилиндров двигателей, корпусных деталей энергетических машин и т. д.

Universal и Tomoscope для целей НИОКР, имеющие в своем составе макро- и микро-фокусные трубки и линейный и плоскочелюстной детекторы. Микрофокусные трубки открытого типа с мощностью излучателей IQ – 225 кэВ/0.01–3.0 тА.

Макрофокусные трубки 60 – 450 кэВ/2.0–9.0 тА. Масса инспектируемой детали до 65 кг, высота – до 650 мм, диаметр – до 635 мм. Томограф имеет гранитное основание и может быть использован в качестве контрольноизмерительной машины. Разрешение до 1 мкм,

точность измерений 10 мкм. Томографы позволяют проводить регистрацию и анализ дефектов и внутренней структуры деталей практически из всех конструкционных материалов, включая пластмассовые и композитные. Эти машины чрезвычайно удобны и полезны для отработки технологии литья, а также для входного и выходного контроля особо ответственных отливок и металлопорошковых изделий с повышенными требованиями на герметичность и качество внутренней структуры материала. Известными производителями компьютерных томографов являются также: Nikon (производство в Бельгии), General Electric (подразделение Phoenix), Carl Zeiss, Werth, Matrix Technologies (Германия) Для лабораторных исследований представляют интерес относительно недорогие (80–120 тыс. евро) томографы CTportable (Fraunhofer EZRT), и томографы серии SHR (Shake GmbH) с трубками 50–160 кВ. Наиболее популярным программным продуктом для обработки данных томографирования, контрольных измерений и анализа является VGStudio Max 2.1 компании Volume Graphics.

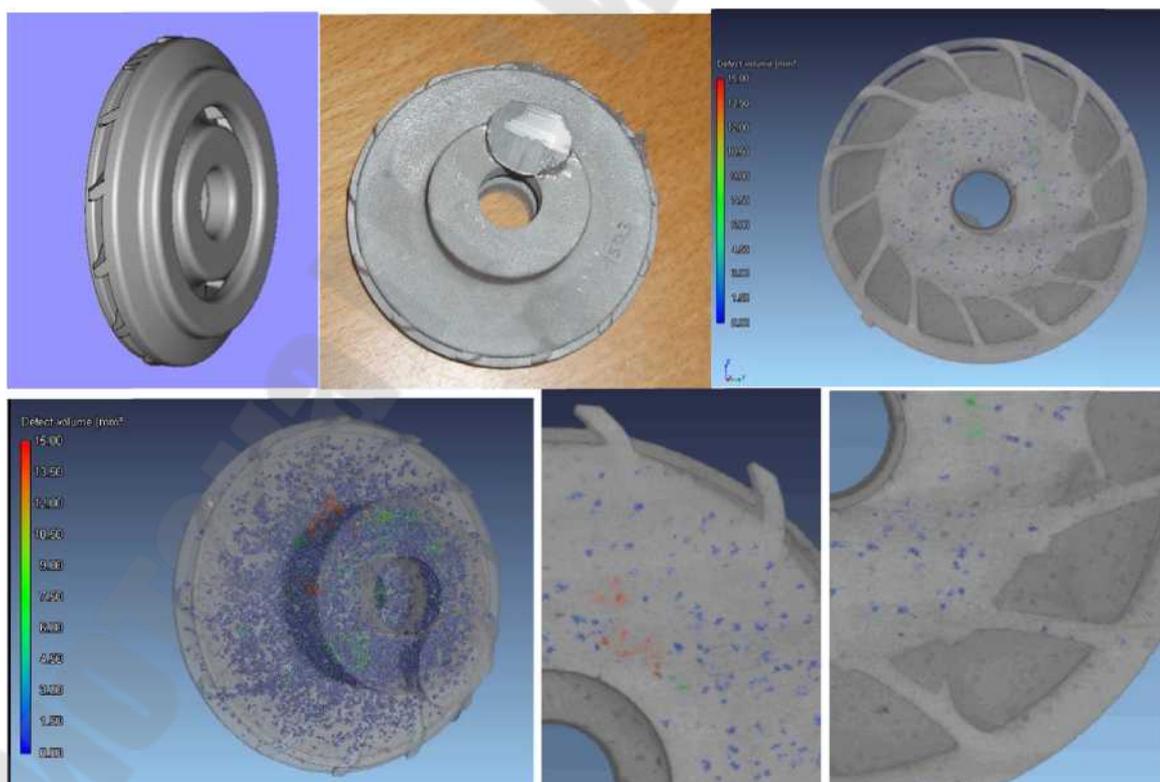


Рисунок 74 - Инспекционный контроль и анализ качества литейных деталей

CAD-модель, отливка, полученная литьем по выжигаемым синтез-моделям и результаты томорафических исследований (с указанием дефектных мест).

8 КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ

При оптимизации химического состава литых железоуглеродистых сплавов, например, быстрорежущих сталей и технологии получения заготовок инструмента основной целью является формирование такой структуры, которая обеспечила необходимую теплостойкость, прочность и износостойкость изделия, высокие показатели которых, в свою очередь, явились бы гарантией предотвращения преждевременного выхода их из строя.

Для практического использования литейных технологий чрезвычайно важно обеспечить высокие показатели ударной вязкости образцов сплава, что гарантируется только тщательным контролем его структурных параметров. Тщательность и оперативность контроля может быть достигнута только применением автоматизированных методов обработки изображения микроструктур. Эти методы, в свою очередь, могут быть применимы только в случае правильного выбора контролируемых параметров.

В данной области исследований широко применяются информационные технологии, которые можно разделить на следующие типы:

1. Компьютеризированное оборудование с программным обеспечением.
2. Программное обеспечение для анализа микроструктур.
3. Базы данных микроструктур.

Промышленный программно-аппаратный комплекс анализа изображений SIAMS 700.

Для осуществления автоматизированной обработки микроструктур применяют промышленный программно-аппаратный комплекс анализа изображений SIAMS 700 представлен на рисунке 75.

Анализатор SIAMS 700 является средством измерения «Анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел». Применение Анализатора SIAMS700 делает структурный анализ материалов легким и точным.

Аппаратное обеспечение

1. Микроскоп оптический
2. Моторизованный столик для микроскопа
3. Цифровая микроскопная видеокамера высокого разрешения SIMAGIS

4. Вычислительная станция SIAMS Visual Station, периферийные устройства

5. Планшетное устройство оцифровки макроструктуры

Дополнительно поставляется оборудование для изготовления шлифов:

1. Отрезные станки

2. Прессы для горячей запрессовки образцов, материалы для холодной заливки

3. Шлифовально-полировальные станки, устройство для электролитической полировки

4. Автоматизированные линии и ванны для макротравления

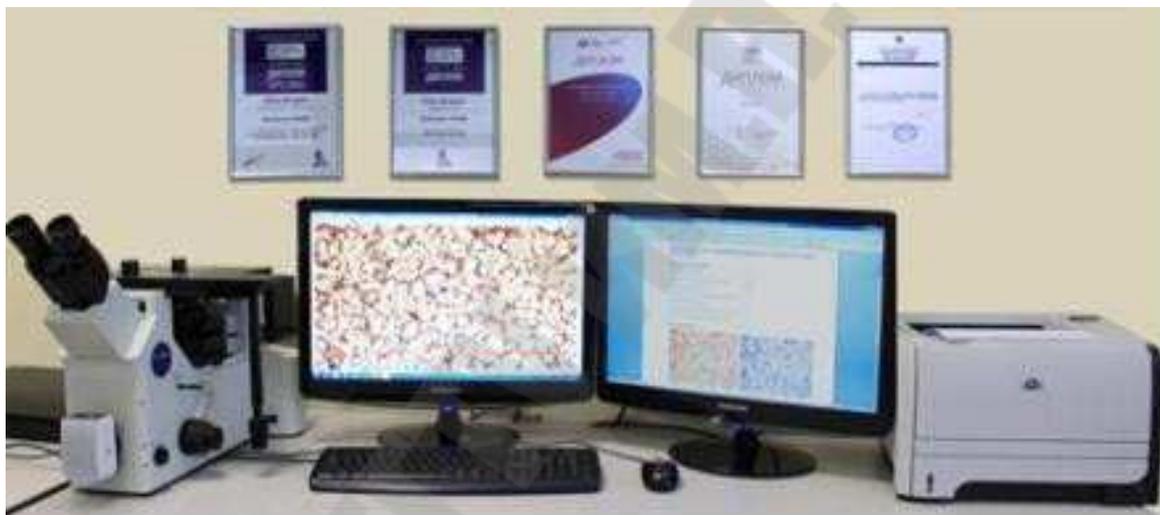


Рисунок 75 - Комплекс SIAMS 700

Программное обеспечение SIAMS 700

Пакет программного обеспечения комплектуется из набора модулей, которые предоставляют лаборанту совершенно новый подход к работе:

1. коллективной работы и удаленной сервисной поддержки в режиме On-Line;

2. построения панорамного изображения в режиме обычного просмотра образца;

3. просмотра «живого» видео и съемки микроструктуры на удаленных рабочих местах;

4. создания автоматически пополняемых атласов структур;

5. прямого экспорта результатов анализа в интегрированный с анализатором

6. электронный журнал и построения контрольных карт Шухарта.

Весь пакет программного обеспечения состоит из модульной

структуры. Нужные модули можно выбрать исходя из решаемых задач.

Модуль «Инструментальная платформа «SIAMS Photolab»

Модуль представлен на рисунке 76. Интерфейс платформы представляет собой электронные таблицы SIMAGIS для размещения изображений, математических функций их обработки и результатов.

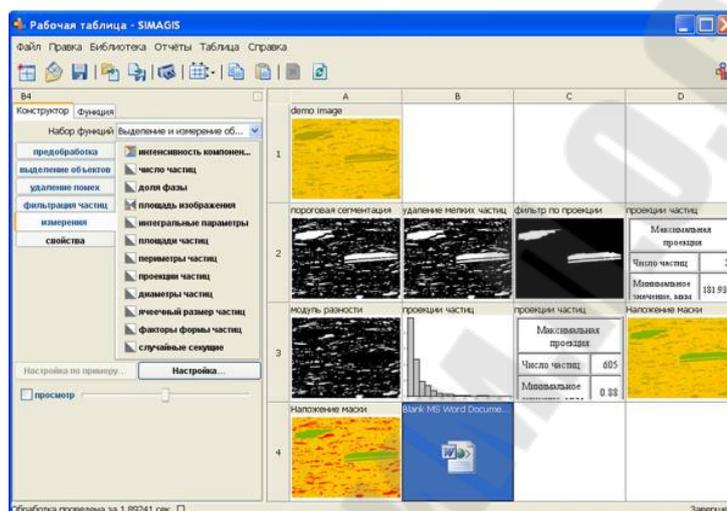


Рисунок 76 - Окно программы «SIAMS Photolab»

Возможности модуля:

1. Визуализация и ввод изображений микроструктуры образцов с микроскопа, цифрового фотоаппарата или сканера.
2. Экспорт и сохранение и графических изображений в форматах tif, tiff, jpg, jpeg, png, bmp, img.
3. Получение пользователем сфокусированного изображения по серии расфокусированных.
4. Создание панорамы смежных полей зрения.
5. Повышение качества изображения: настройка цветового баланса, изменение яркости и контраста, выравнивание освещенности
6. Выделение различных деталей структуры, исходя из поставленной задачи: вычитание помех, фильтрация частиц по форме, размеру, цвету, яркости и другим характеристикам, наложение маски на выделенные элементы структуры.
7. Измерение любых размерных и планиметрических характеристик структурных составляющих.
8. Использование готовых алгоритмов – примеров методик анализа для самообучения пользователя принципу составления своих собственных алгоритмов.

9. Встроенный «Конструктор решений» – инструмент для создания собственных методик для одновременного анализа любого количества полей зрения.
10. Создание и сохранение отчета в формате MS Word. Возможен экспорт результатов анализов в MS EXCEL.
11. Создание альбомов изображений микроструктур по заданной классификации и выбранному варианту оформления.

Модуль «SIAMS StatBook»

Предназначен для формирования электронного лабораторного журнала. Результаты анализа микроструктур передаются в «SIAMS StatBook» из любой методики программного обеспечения SIAMS нажатием одной кнопки.

Модуль «Сетевая платформа «SIAMS Apps»

Сетевая платформа «SIAMS Apps» предназначена для коллективной работы, систематизации и хранения изображений и результатов анализа структур, удаленного доступа к информации. «SIAMS Apps» объединяет автоматизированные методики анализа, инструменты для измерений и информационную систему. Система устанавливается отдельно, на сервере, обеспечивая работу на любом персональном компьютере, входящих в сеть организации.

Модуль «Тематические электронные атласы для металлографического анализа методом сравнения».

Возможности модуля:

1. Упорядоченное хранение большого количества графических изображений микроструктур.
2. Одновременный просмотр двух изображений микроструктур (исследуемого и выбранного или эталонного из атласа).
3. Авто подбор наиболее подходящих вариантов микроструктур для сравнения по требуемым параметрам.
4. Привязка изображений микроструктур к идентификационным признакам образца и результатам сравнительного анализа.
5. Дополнение атласа новыми изображениями микроструктур по окончании очередного исследования по выбору пользователя.
6. Помощь в формировании выводов по результатам сравнительных анализов на основании имеющихся.
7. Автоматическое формирование отчета по результатам анализа нескольких полей зрения.

Модуль «SIAMS VideoPanorama»

Данный модуль предназначен для создания панорамных изображений микроструктуры исследуемых образцов. В работе модуля

не используется моторизованный столик микроскопа. Оператор вручную управляет столиком микроскопа и в реальном времени происходит построение панорамного изображения просмотренных областей образца. Работу модуля можно посмотреть здесь: <https://goo.gl/4cpzWi>

Модуль «SIAMS AutoScan»

Данный модуль предназначен для управления моторизованным столиком микроскопа и построения панорамных изображений без участия оператора.

Модуль «SIAMS Video»

Данный модуль предназначен для удаленного просмотра микроструктур исследуемых образцов под микроскопом в режиме реального времени, что не требует установку специального программного обеспечения на компьютер, подключенный к микроскопу. После включения модуля «SIAMS Video» на компьютере, к которому подключен микроскоп, начинается прямая трансляция с видеокamеры микроскопа, которую могут просматривать авторизованные пользователи «SIAMS Apps». Оператор управляет трансляцией, управляя микроскопом и пользователи, наблюдающие видеотрансляцию, могут захватывать и сохранять изображение требуемого интересующего поля зрения в любой момент времени.

Методики Анализатора SIAMS 700

Методики систематизированы по различным исследуемым материалам, например, стали, чугуны, сплавы на основе вольфрама и другие. Для каждого материала сгруппированы методики по типу контролируемых параметров микроструктур, например анализ размера зерна, анализ глубины слоя и другие. В анализаторе SIAMS 700 методики делятся на три типа:

1. автоматические (А);
2. полуавтоматические (П);
3. Методики сравнения со стандартными шкалами нормативных документов (Ср).

Автоматические методики.

Предназначены для автоматизации всего процесса анализа - от ввода изображения с видеокamеры микроскопа, до распечатки сформированного по результатам исследования отчета. Каждая из методик работает по своему собственному алгоритму, удовлетворяя методологическую преемственность по отношению к российским и зарубежным стандартам. Методики представлены на рисунке 2.5

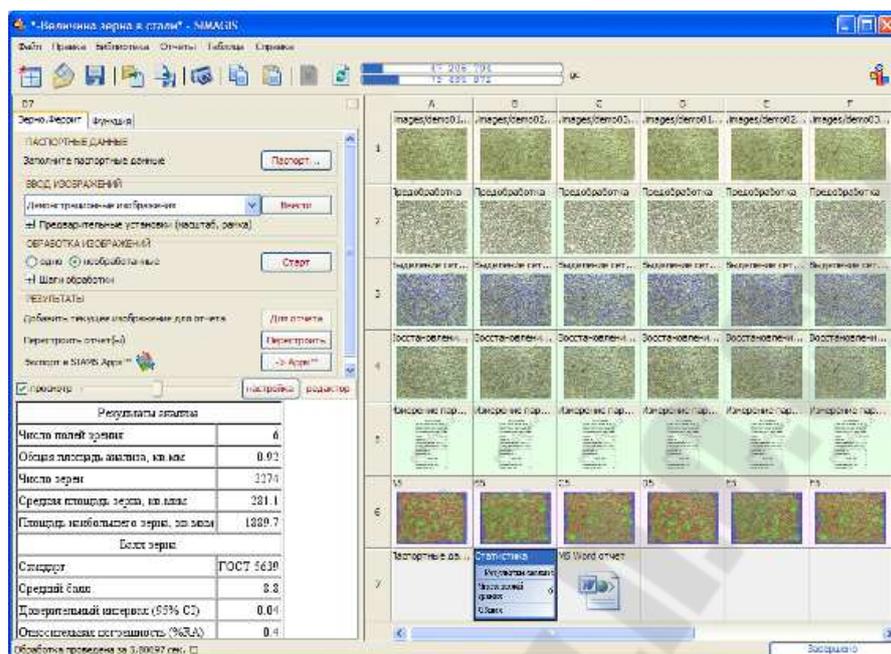


Рисунок 77 - Окно программы.

«Автоматические методики Анализатора СИАМС 700»

Возможности методик:

1. Одновременный анализ нескольких полей зрения с получением результатов по каждому полю зрения.
2. Каждая методика открывается в своем окне программы в виде единой таблицы, в ячейках которой последовательно расположены все исходные, обработанные изображения и промежуточные микроструктуры и результаты анализа для каждого поля зрения и для всего образца.
3. Существует возможность проверки правильности выделения структурных составляющих исследуемых образцов с помощью включения регулировки прозрачности маски или режима мерцания маски.
4. Представленная в виде электронной таблицы методики дают возможность пользователю на любом этапе анализа произвести корректировку настройки функций для более точного выделения структурных составляющих. При этом программа автоматически пересчитывает все далее идущие этапы и перестраивает отчет.
5. Возможность ручной корректировки микроструктур, выделением объектов измерения при помощи встроенного графического редактора.
6. Автоматическое формирование сводной таблицы результатов, отчета.

7. Автоматическое формирование в протокол графиков, сводных таблиц, обработанных и исходных фотографий микроструктур.
8. Совместимость с приложениями «SIAMS VideoPanorama», «SIAMS StatBook», «Тематические электронные атласы».

Полуавтоматические методики.

Возможности методик:

1. Автоматическая обработка результатов по указанным объектам.
2. Поочередный анализ нескольких полей зрения с получением результатов по каждому полю зрения.
3. Автоматическое формирование сводной таблицы результатов, отчета.
4. Автоматическое включение в отчет графиков, сводных таблиц, исходных и обработанных изображений микроструктур.
5. Совместимость с приложениями «SIAMS StatBook», «SIAMS VideoPanorama», «SIAMS Apps», «SIAMS AutoScan».

Рабочее окно методики представлено на рисунке 78.

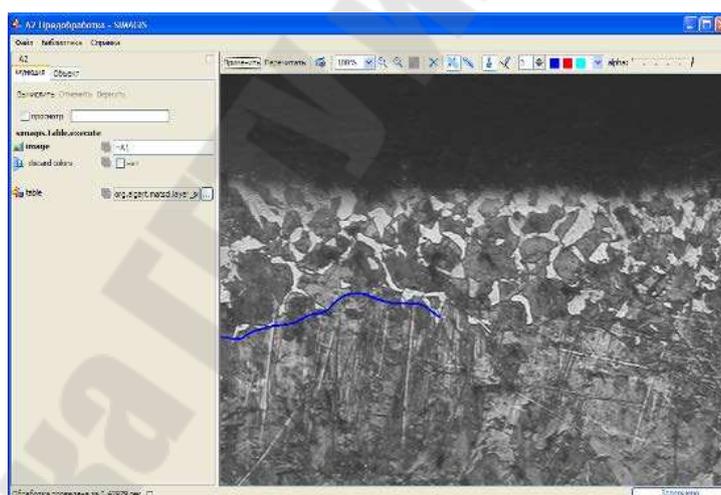


Рисунок 78 - Окно программы «Полуавтоматические методики Анализатора SIAMS 700».

Методики сравнения со стандартными шкалами нормативных документов

Данные методики предназначены для автоматизации визуального сравнения микроструктуры образца с фотографиями микроструктур, приведенных в ГОСТ. Анализ проводится по произвольному количеству полей зрения с сохранением результатов. Из стандартного ряда фотографий, пользователь выбирает одну со структурой, соответствующей анализируемой.

Возможности методик:

1. Автоматическое формирование изображений к единому масштабу.
2. Синхронное изменение масштаба сравниваемых микроструктур.
3. Автоматическое присвоение балла микроструктуры.
4. Анализ любого количества полей зрения с сохранением результатов анализа.
5. Автоматическое формирование отчета.
6. Возможность самостоятельного создания пользователем шкал эталонов сравнения на основе микроструктур.
7. Интеграция с приложениями «SIAMS StatBook», «SIAMS Apps»

Рабочее окно методики представлено на рисунке 79.

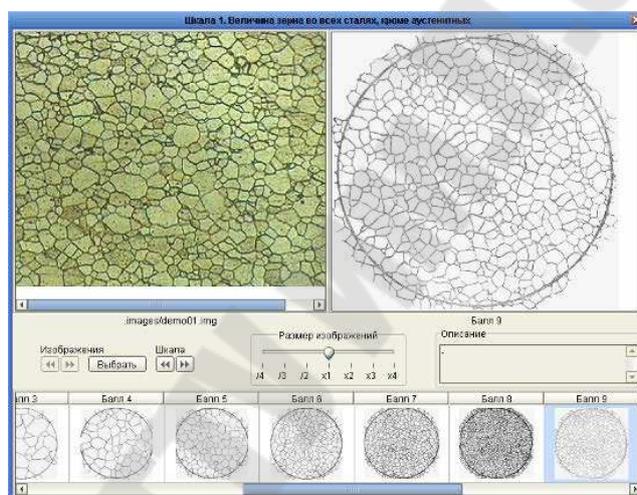


Рисунок 79 - Окно программы «Методики сравнения со стандартными шкалами нормативных документов»

Рентгеновский дифрактометр ДРОН 3.0

Общие сведения

Дифрактометр ДРОН-3.0 предназначен для выполнения широкого круга рентгеноструктурных исследований монокристаллов и поликристаллов различных материалов. Применение специальных приставок делает возможным проведение исследований с охватом области углов, начиная с 12 минут; в температурных интервалах от +20 до +2000 °С и от +20 до –180 °С. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трёхмерной кристаллической решётке. Фотография ДРОН 3.0 представлена на рисунке 80.



Рисунок 80 - Дифрактометр ДРОН 3.0

Для определения фазового состава и параметров тонкой структуры исследуемых образцов проводится съемка полной рентгенограммы в непрерывном режиме с шагом по углу $0,1^\circ$. Интервал углов $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ выбирается с учетом нахождения линий предполагаемых фаз картотеки.

Аппаратное обеспечение

Основными частями дифрактометра ДРОН-3.0 являются:

1. Рентгеновский аппарат;
2. Гониометрический блок;
3. Блок автоматического управления;
4. Персональный компьютер;
5. Устройство вывода информации.

Программное обеспечение.

Расшифровка фазового состава полученной рентгенограммы проводится в программе *Crystallographica Search-Match (Oxford)* и включает:

1. удаление фона (автоматически или по точкам);
2. автоматическую разметку линий с удалением $K\alpha_2$ дублетов и расчетом характеристик пиков;
3. выбором порога чувствительности (0 – 100 %) и ширины линии;

Идентификация фазового состава проводится в режимах:

1. автоматического поиска эталонных образцов в полной базе данных *PDFWIN 2,0*, включающей более 120 тысяч карточек;

2. создания собственной базы данных в программе *Crystallographica Search-Match* по данным элементного состава, известной сингонии и др., значительно сужающей число эталонных карточек, позволяющей повысить точность и увеличить скорость индентирования рентгенограмм. Рабочее окно программы представлено на рисунке 81.

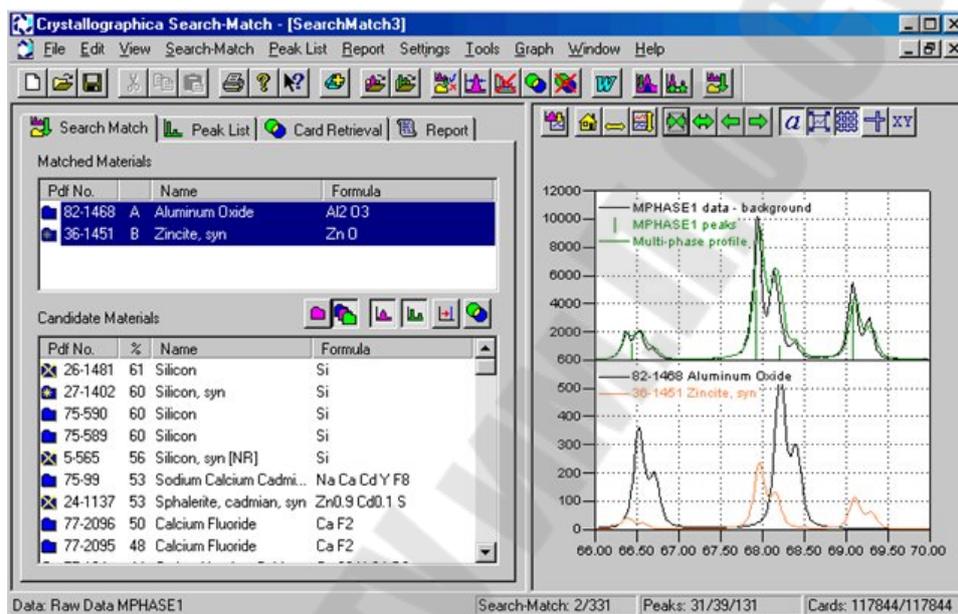


Рисунок 81 - Рабочее окно программы «Crystallographica Search-Match»

По анализу рентгенограмм сравнения проводится отбор и идентификация фазового состава образца. Результаты идентификации фазового состава включают в себя данные о параметрах рентгеновского спектра, подобранных карточках (название, химическая формула и номер), характеристике пиков (угол, межплоскостное расстояние, интенсивность, полуширина и принадлежность к карточке).

Для расчёта параметров тонкой кристаллической структуры (размер ОКР, плотность дислокаций, относительная средняя микродеформация, параметр решетки) выбираются линии двух порядков отражения от одной плоскости, которые для надежной регистрации имеют достаточную интенсивность и не совпадают с другими отражениями

Пост микроконтроля МК-ЗТ. Общие сведения

Пост микроконтроля (рисунок 82) - измерительный комплекс на базе микроскопа МИ-1, предназначен для контроля и измерения структуры, состава и свойств металлов, сплавов при производстве в металлургии, входном контроле металлов в машиностроении.



Рисунок 82 - Пост микроконтроля МК-1

Заложенные в оптической составляющей микроскопа возможности, позволяют широко его использовать для анализа микроструктур сплавов.

Пост микроконтроля МК-3 оснащен качественной оптикой высшего класса с увеличенным полем наблюдения, что позволяет рассматривать исследуемые объекты без существенных потерь времени на поиск объектов при изменении увеличения. В соответствии с поставленной задачей, объекты можно исследовать в светлом и темном поле, реализовав режим поляризационного контраста. Пост микроконтроля МК-3 позволяет осуществлять TV контроль и компьютерный анализ изображения [3].

Аппаратное обеспечение

Пост микроконтроля МК-3 состоит из следующих комплектующих:

1. Компьютер
2. Микроскоп МИ-1

Программное обеспечение

Поставляемое к посту программное обеспечение - SimpleIM. Рабочее окно программы представлено на рисунке 2.11

С помощью данного оборудования можно осуществлять следующие технологические операции:

1. измерение геометрических размеров;
2. измерение площади и процентного количества включений;
3. подсчет и измерение различных коэффициентов формы и распределения частиц;
4. автоматизация измерений в зависимости от типа материала на изображении;

5. специальные алгоритмы восстановления границ зерен для однофазных и многофазных материалов;
6. вычисление относительной однородности материала с помощью функции Измерение однородности;
7. возможность быстрого создания отчетов о результатах эксперимента на основе сохраненных шаблонов;
8. отображение подробной статистической информации в виде таблиц и гистограмм;
9. представление данных и форматирование изображений в стандартизованном формате.

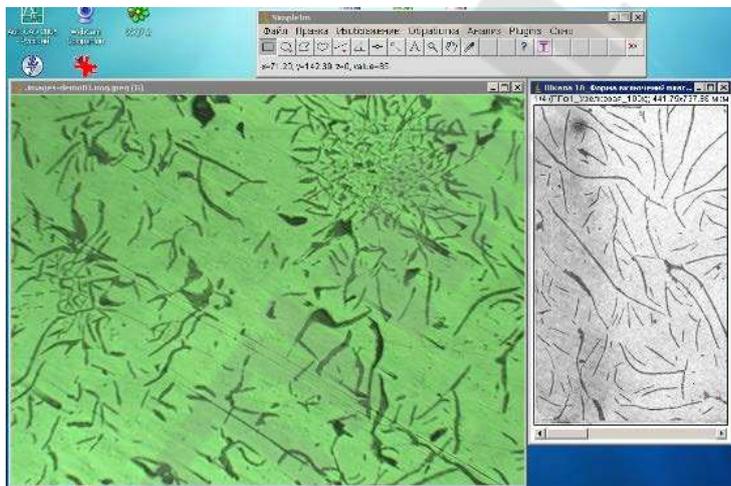


Рисунок 83 - Рабочее окно программы SimpleIM

Данные измерений для ASTM-стандартов представляются в формате, совместимом с промышленными стандартами [3].

Программа анализа изображений NEXSYS

Компания «Новые экспертные системы» является разработчиком специализированного программного обеспечения NEXSYS ImageExpert™, которое состоит из нескольких самостоятельных программ для работы с микроструктурами. Так же этот пакет используется и в других областях исследований, таких как медико-биологических или экологических, научных исследований в области твёрдого тела, жидкостей или плазмы, и многие другие задачи.

NEXSYS ImageExpert™ Pro 3

Этот программный продукт предназначен для количественного анализа изображений. Широкий набор функций по обработке изображений и выделению интересующих структурных элементов позволяют использовать анализатор для решения широкого круга задач. Наличие оптимального набора инструментов намного упрощает

применение ручных операций. На стадии предварительной обработки он позволяет, к примеру, восстановить резкое изображение из ряда частично-резких, устранить дефекты освещённости шлифа, усилить чёткость мелких деталей. Для выделенных объектов на изображениях рассчитывается несколько десятков количественных параметров, при этом их подборка и точность вывода настраиваются пользователем под конкретные виды анализа. Полученные количественные данные формируются и представляются в соответствии с требованиями российских и международных стандартов. Отчеты формируются в среде текстового редактора Microsoft Word. Рабочее окно программы изображено на рисунке 84.

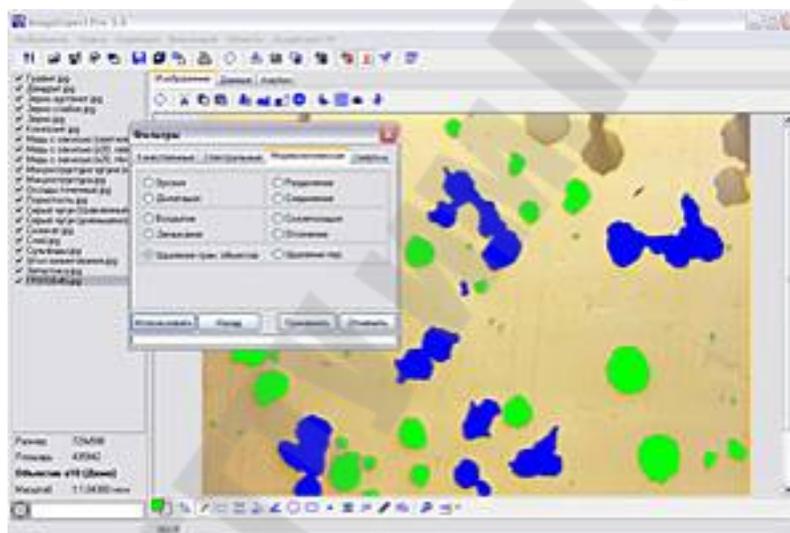


Рисунок 84 - Окно программы NEXSYS ImageExpert™ Pro 3

NEXSYS ImageExpert™ Sample 2

Данное программное обеспечение предназначено для качественного анализа изображений и ориентировано на анализ структур посредством сравнения с эталонами. Изображения с камеры напрямую поступают в программу анализа, затем автоматически масштабируются и пользователь назначает каждому полю зрения балл, сравнивая с эталонами в правой части программы, пролистывая их один за другим. На основе полученной статистики формируется автоотчёт в Microsoft Word, включающий название шкалы стандарта, изображение, баллы по полям зрения, гистограмму и таблицу, общую статистику и вывод, а также подпись оператора.

Также, в данной программе, пользователи имеют возможность ввести в анализатор требуемые стандарты самостоятельно, и при необходимости дополнительно приобретать комплекты эталонных шкал у производителя. Рабочее окно программы изображено на рисунке 85

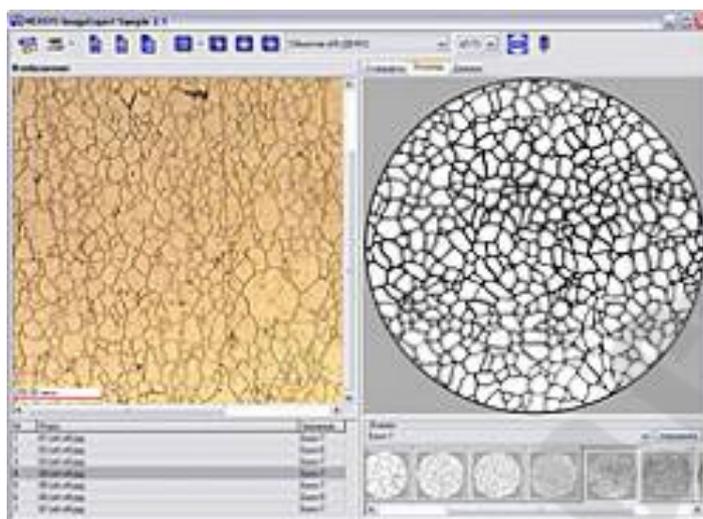


Рисунок 85 - Окно программы NEXSYS ImageExpert™ Sample 2

EXSYS ImageExpert™ MicroHardness 2

Данная программа является продолжением новой технологии ImageExpert™ третьего поколения и предназначена для измерений микротвёрдости фазовых структурных составляющих и для получения распределения микротвердости по толщине, например химико-термически обработанных слоев. Программа позволяет получать изображения отпечатков с цифровых или аналоговых видеокамер в реальном времени или загружать полученные ранее изображения из файлов. Проведение предварительной калибровки аппаратно-программного комплекса позволяет получать адекватные значения микротвёрдости. Методика анализа производится в полном соответствии с ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» по методу восстановленного отпечатка. Рабочее окно программы изображено на рисунке 86.

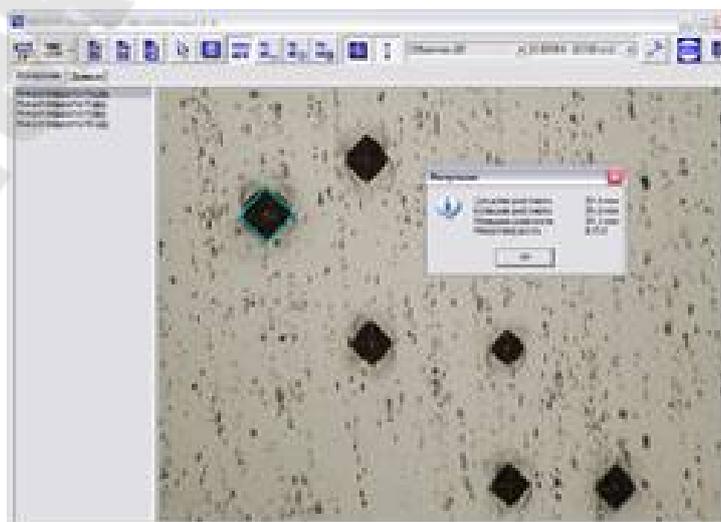


Рисунок 86 - Окно программы NEXSYS ImageExpert™ MicroHardness 2

NEXSYS ImageExpert™ Gauge

Данная программа предназначена для получения изображений анализируемых структур и материалов, наблюдаемых в микроскопе, с проведением оператором простых геометрических измерений элементов структуры в реальных физических единицах.

Мастер съёмки, встроенный в программу, работает с широким спектром аналоговых и цифровых видеокамер. Пользователь, ведя съёмку в «живом» времени, имеет возможность сохранять отдельные ее кадры. Для удобства оператора реализована возможность ступенчатого масштабирования для режима отображения видео и для сохраняемых изображений. Анализатор поддерживает наиболее популярные графические растровые форматы: bmp, jpg, gif, tif, psx, pcd, psd. Полученные изображения могут быть сохранены или распечатаны на принтере. Для загруженных изображений можно получать такие геометрические параметры, как линейная длина; значения углов определяемых по трём точкам или по двум не пересекающимся отрезкам; параметры окружности определяемой по трём точкам на её границе; параметры выпуклого четырёхугольника, определяемого по четырём точкам в углах фигуры. Рабочее окно программы изображено на рисунке 2.15.

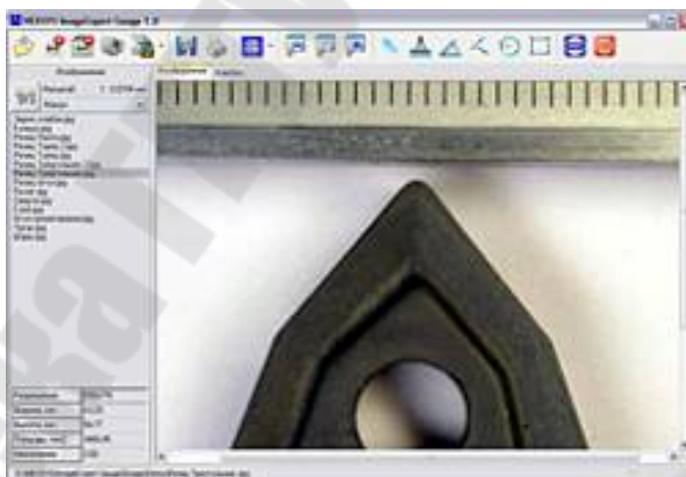


Рисунок 87 - Окно программы NEXSYS® ImageExpert™

Программа анализа SW Complex Analysis. Общие сведения

Программное обеспечение SW Complex Analysis предназначено для качественной и количественной оценки неоднородностей, возникающих во время эпитаксиального роста полупроводниковых структур методом МОСГФЭ. Использование данного программного обеспечения помогает оптимизировать параметры роста с целью значительного сокращения необходимого времени и материальных затрат при калибровке реактора перед выводом его на проектную

мощность и при периодической эксплуатации.

Решаемые задачи:

1. Построение карт сопротивления пластин: анализ однородности легирования;
2. Обработка и визуализация данных, получаемых с установки фотолюминесценции: карты фотолюминесценции и отражения на белом свете брэгговского зеркала;
3. Объединение данных по отдельным пластинам в единую структуру подложконосителя;
4. Построение радиальных сечений исходных данных (линейных профилей) как пластин, так и всего подложконосителя;
5. Количественный анализ неоднородности: статистический анализ данных.

Помимо главных задач, связанных с контролем качества роста полупроводниковых структур и оценки неоднородности, возникающей во время МОСГФЭ, программа может открывать, анализировать и отображать в 3D текстовые файлы с массивом вершин, а также проводить количественный анализ яркости (и построение трёхмерного профиля) изображений по четырём моделям расчёта светимости. В программу также включён инструмент для визуальной оценки длины волны светящегося объекта по его фотографии.

Анализ приведенных программ подтверждает возможность их использования для оценки структурных параметров структуры железоуглеродистых сплавов с вероятным прогнозированием их свойств и контроля качества. Рабочее окно программы изображено на рисунке 88.

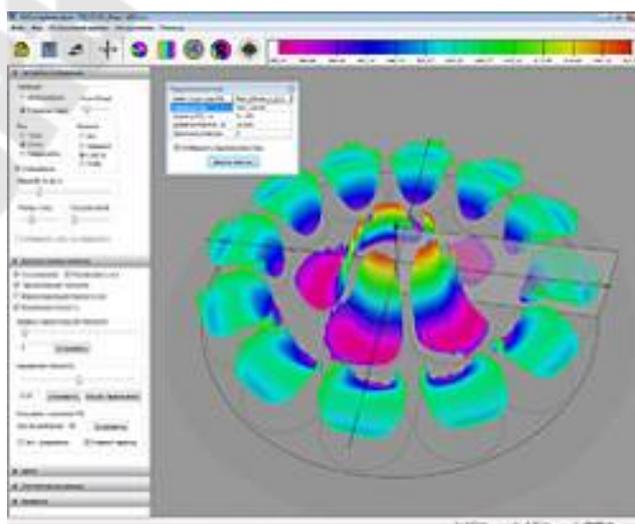


Рисунок 88 - Окно программы SWComplexAnalysis

Программа анализа изображений «Thixomet® Pro». Общие сведения

Программа анализа изображений «Thixomet®Pro» специально разработана для решения многих задач в металлургии и материаловедении. В программе анализа изображений происходит по различным методикам и стандартам. Данная программа прошла метрологическое освидетельствование как средство измерения. Краткие описания методик и стандартов описаны ниже[9].

Оценка среднего размера зерна

Оценка среднего размера зерна происходит по следующим стандартам: ГОСТ 5639-82, ГОСТ 21073-75, ASTM E1382, ASTM E112, DIN 50 601.

В этих модулях производится автоматическое распознавание границ зерен, а средний размер зерна рассчитывается по найденному числу зерен и площади, которую они занимают. С помощью специальных инструментов можно реконструировать плохо протравленные границы, исключить из анализа мелкие выделения второй фазы и др.

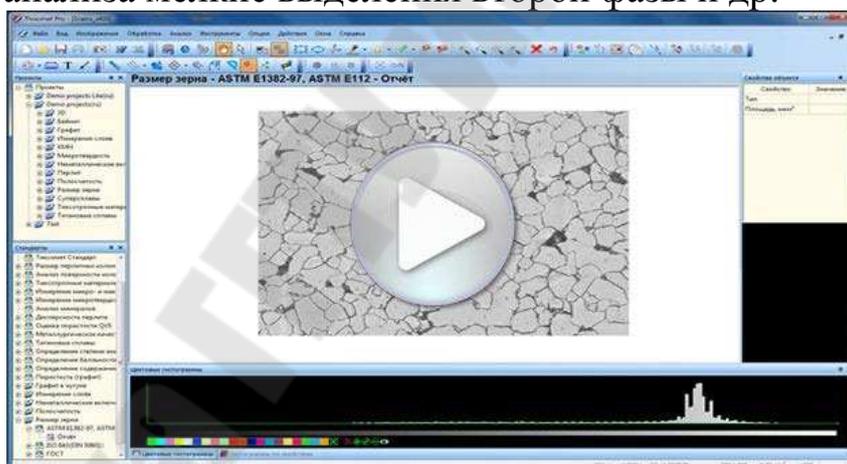


Рисунок 89 - Оценка среднего размера зерна.

Оценка загрязненности стали неметаллическими включениями

Осуществляется по ASTM E1245, ГОСТ 1778-70, DIN 50602. На основе стереологических соотношений определяются все важнейшие параметры неметаллических включений или второй фазы: объемная доля, размер и характер взаимного расположения. Назначение балла производят по измеренной объемной доле для каждого типа включений на основе известной градуировочной кривой «балл-объемная доля». Производится разделение включений на типы, предусмотренные стандартами, поиск наиболее загрязненного поля или подсчет количества полей определенной загрязненности для каждого типа включений в зависимости от выбранного метода. Рабочее окно методики изображено

на рисунке 2.18.

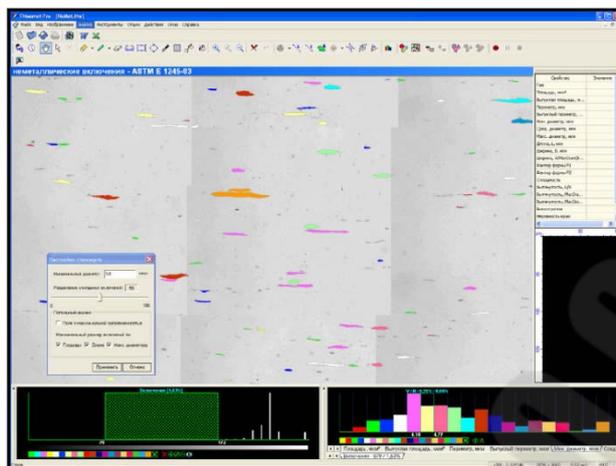


Рисунок 90 - Оценка загрязненности стали неметаллическими включениями

Измерение слоев и покрытий. Определение глубины обезуглероженого слоя происходит в режиме «от поля к полю» или «от панорамы к панораме» в автоматическом или ручном. В автоматическом режиме распознаются кромки образца и границы зон обезуглероживания. С помощью инструментов тонкой настройки можно задавать требуемое соотношение «феррит-перлит», по которому будет определена граница обезуглероживания. Также присутствует возможность рассчитывать соответствующие средние значения, вести статистику измерений и проводить измерения многослойных структур. Рабочее окно методики изображено на рисунке 91.

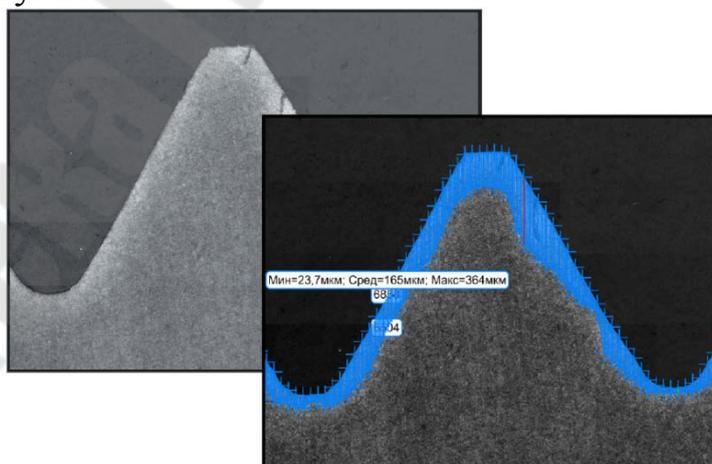


Рисунок 91 - Обезуглероженный слой на поверхности зуба фрезы.

Автоматизация измерений твердости

Данный модуль используется для автоматизации измерения микро- и макро- твердости по Виккерсу, Кнупу или Бриннелю.

Распознавание отпечатков индентора производится автоматически с возможностью коррекции результатов распознавания, либо вручную, с помощью специального измерительного инструмента. Рабочее окно методики изображено на рисунке 92

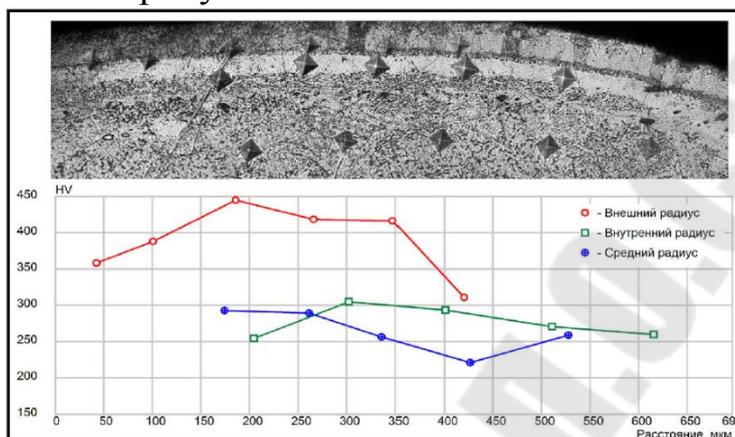


Рисунок 92 - Распределение микротвердости по глубине

Анализ поверхности изломов.

Анализ поверхности изломов производится методами текстурного анализа, где распознаются области вязкого или хрупкого излома образцов после испытаний на ударную вязкость или падающим грузом. Исследуются предварительно созданные панорамные изображения, улучшенные с помощью алгоритма расширенного фокуса.

Рабочее окно методики изображено на рисунке 93

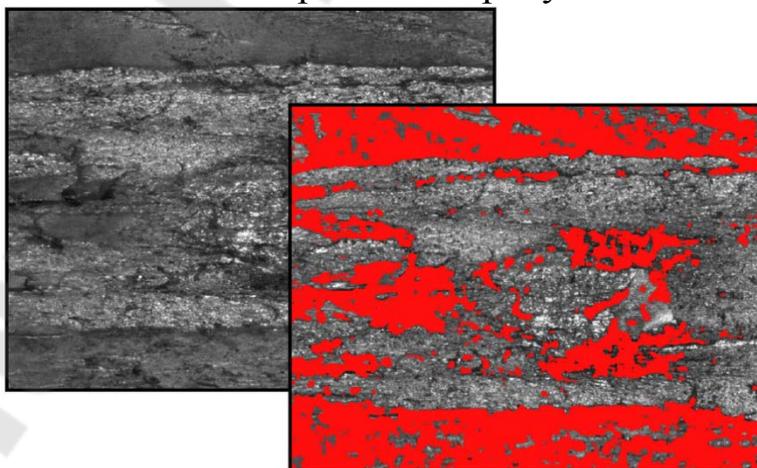


Рисунок 93 - Поверхность разрушения образца с участками вязкого и хрупкого разрушения

Методы сравнения с эталонами

В данном модуле оценка микроструктур производится методом сравнения с эталонами, где полупрозрачные изображения которых накладываются на изучаемое изображение микроструктуры. По результатам сравнения происходит расчёт статистических параметров и

формируется отчет. Имеется базовый набор стандартных шкал, которые возможно неограниченно расширять пользователю.

Определение структурной полосчатости стали

Методика «ВНИИСТ» предназначена для определения структурной полосчатости с помощью баллов соответствующей шкалы, аналогичной ГОСТ 5640-68, но для структуры «феррито-бейнитной». Шкала построена по принципу увеличения количества полос второй фазы с учетом их сплошности и степени вытянутости ферритного зерна. Для тонкой настройки методики используется алгоритм восстановления плохо протравленных границ зерен. Полосчатость в соответствии с требованиями этого стандарта описывается словесно. Рабочее окно методики изображено на рисунке 94.

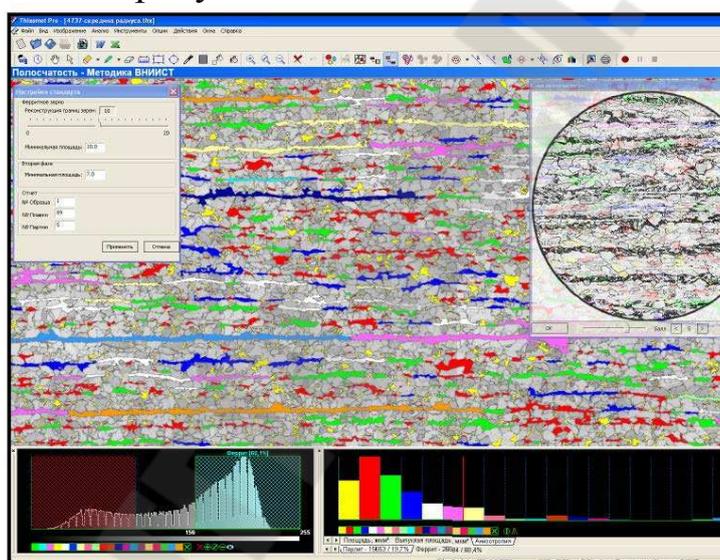


Рисунок 94 - Определение структурной полосчатости стали

Оценка микроструктуры перлита

Данный модуль разработан для оценки размера зерен перлита и его колоний, а также для определения соотношения структуры «перлит-феррит» в стали. Для распознавания колоний перлита используется метод выделения границ по перепадам яркости, а также их реконструкция по морфологии. По результатам измерений формируется отчет с процентным соотношением «перлит-феррит» и баллом перлитных колоний, назначенным по аналогии с оценкой размера ферритного зерна по ГОСТ 5639.

Также в этом модуле доступны настройки для отделения феррита от цементита в перлите для анализа перлита различной степени дисперсности. Рабочее окно методики изображено на рисунке 2.23.

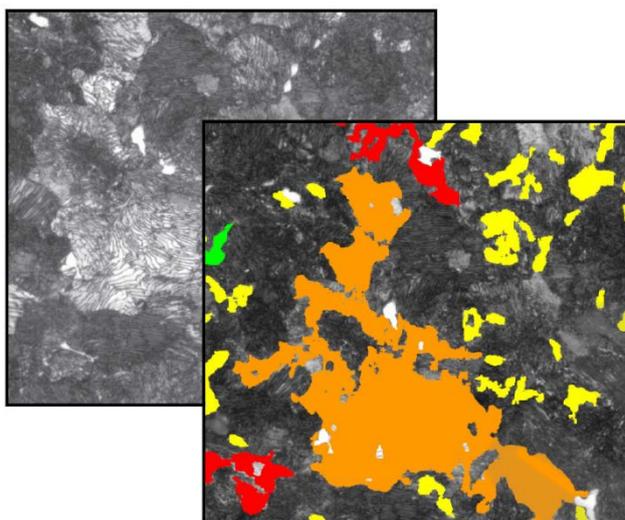


Рисунок 95 - Оценка микроструктуры перлита

Экспорт продуктов в ms office. Полученные результаты, изображения, их фрагменты в оригинальном или распознанном виде, калиброванные изображения с микронной линейкой или маркером, результаты измерений метрических параметров объектов изображения возможно экспортировать в приложении MS OFFICE для формирования индивидуальных отчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии приведены некоторые сведения о современных литейных технологиях, которые с полным правом можно отнести к инновационным и которые в полной мере соответствуют задачам создания инновационной экономики. Экономика приобретает инновационный характер вследствие инновационного развития в первую очередь сферы материального производства, в основе которого лежат **технологии** – «знание и умение» сделать что-либо: микросхему, программный продукт, автомобильную шину, лопатку турбины или медицинский препарат. Именно технологии в широком смысле – наличие или отсутствие их, определяют положение экономики страны в мире, ее стратегические позиции. Наличие технологий дает в руки ученому или конструктору мощные инструменты для реализации новых идей. Технологии позволяют применять новые высокоэффективные материалы, новые методы управления, и таким образом обуславливают новое функциональное и интеллектуальное содержание продукта. Отсутствие же технологий сковывает, ограничивает творческий потенциал ученого или конструктора, вынуждает его применять те технические решения, которые есть в его распоряжении, а не те, которые требуются для достижения амбициозных целей. Поэтому сами технологии **являются главным объектом инновационной деятельности.**

Разработка инновационных технологий является следствием, результатом совместного труда ученых в фундаментальных и прикладных областях. Именно это – НИР и НИОКР, являются ключевыми звеньями во всей технологической цепочке создания инновационных продуктов, и именно эти ключевые звенья должны быть объектами особого внимания, как со стороны государства, так и научного сообщества. Приведенные технологии являются не только современными и высокоэффективными, но инновационными по своей сути, поскольку сами позволяют генерировать новые технологии, несут в себе новое качество. Залогом успешного освоения данных технологий является их цельность, т. е. соединение их самих в определенную технологическую цепочку, которую можно переформатировать в зависимости от конкретной решаемой задачи. Особенностью аддитивных технологий, о которых идет речь в статье, является их относительно высокая стоимость. Освоить эти технологии во всем их многообразии не под силу даже самым успешным предприятиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внепечная вакуумная металлургия стали /Новик Л.М. – М.: Наука, 1996. – 188 с.
2. Внепечная обработка стали /Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. – М.: "МИСИС", 1995. – 256 с.
3. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства /Григорьев В.П., Нечкин Ю.М., Егоров А.В., Никольский А.В. – М.: "МИСИС", 1995. -512 с.
4. Машины и агрегаты металлургических заводов: Учебник /Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. В 3-х т. 2-е изд. – М.: Металлургия. Т.1.
5. Общая металлургия /Воскобойников В.Г., Кудрин В. С, Якушев А.М. – М.: Металлургия, 1998. – 768 с.
6. Технология получения качественной стали /Кудрин В.А., Парма В. – М.: Металлургия, 1984. – 320 с.
7. Десорбция газа из жидкого металла в вакууме /Бурцев В.Т. – М.: Металлургия, 1987. – 232 с.
8. Взаимодействие водорода с металлами /Агеев В.Н., Бекман И.Н., Бурмистрова О.П. и др. – М.: Наука, 1987. – 296 с.
9. Газы в стали и качество металла /Лузган В.П., Явойский В.И. – М.: Металлургия, 1983. – 230 с.
10. Теория металлургических процессов /Попель С.И. – М.: Металлургия, 1986. – 462 с.
11. Инжекционная металлургия /Кудрин В.А. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
12. Огнеупоры для вакуумных агрегатов /Карклит А.К., Орлов В.А., Соколов А.Н. – М.: Металлургия, 1982. – 143 с.
13. Раскисление стали и модифицирование неметаллических включений /Ицкович Г.М. – М.: Металлургия, 1981. – 296 с.
14. Строение и свойства жидкого металла – технология – качество /Еланский Г.Н., Кудрин В.А. – М.: Металлургия, 1984. – 239 с.
15. Обработка металла инертными газами. /Ойкс Г., Н., Степанов А.В., Мелихов П.И., Баяринова А.П., Култыгин В. С, Косырев Л.К., Виноградова Л.В. Изд-во «Металлургии, 1969, с. 12.

16. Рафинирование стали инертным газом. Баканов К.П., Бармотин И.П., Власов Н.Н., Герасимов Ю.В., Каблуковский А.Ф., Косырев Л. К., О икс Г.Н., Сидоров Н.В., Тулин Н.А., Филатов С К-, Чернов Г.И., Чехомов О.М., М., «Металлургия», 1975, 232 с.
17. Оборудование и конструкция сталеплавильных агрегатов и цехов. Ю.М. Нечкин, В.П. Григорьев. Учебное пособие по практическим занятиям. М.: 1986.
18. Расчет откачных систем вакуумных металлургических установок. Методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию профессор Линчевский Б.В.М.: 1997 г.

ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Пособие
по одноименной дисциплине
для студентов специальности
1-36 02 01 «Машины и технология литейного
производства» дневной формы обучения**

Составитель **Жаранов** Виталий Александрович

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 27.06.18.

Рег. № 86Е.

<http://www.gstu.by>