ОГБПОУ «ТОМСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ТЕХНИКУМ»

Методическая разработка

 на тему:

**«ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО»**

по дисциплине

 «Материаловедение»



2017

ОДОБРЕНА

предметной (цикловой)

комиссией

спецдисциплин 23.02.03,

23.02.04 УТВЕРЖДЕНА

 Председатель ЦК Зам. директора по ПО

 Лантух С.Н. Кульменева Е.А ------------------

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г. " " 2017г.

Авторы \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.Л. Чистякова

 (преподаватель ТАДТ)

Рецензенты \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.Н. Лантух

 (председатель ЦК ТАДТ)

**Рецензия**

Методическая разработка на тему “Литейное производство” по дисциплине «Материаловедение» включает богатый материал, который может заинтересовать не только как учебный, но и как научно-популярный. Познавательные видеоролики о способах литья полезны для расширения кругозора и технического мышления студентов.
В текстовой части приведен интересный материал по истории литейного дела, о литых чудесах света. Лаконично и конкретно изложен теоретический материал по изучаемым вопросам. Материал подкреплен иллюстративной презентацией Power Point.

Методическую разработку можно рекомендовать для изучения студентам и преподавателям технических дисциплин. Автор использовал различную техническую литературу, поисковые системы Internet при составлении пособия.

 Рецензент Гусева Н.Н.

 (преподаватель ТЭПК)

**СОДЕРЖАНИЕ**

Рецензия 3

Содержание 4

1. Литейное производство 5 1.1. Литые чудеса света 5 1.2. История литья на Руси 11 1.3. Литейные сплавы 23

1.4. Свойства литейных сплавов 32

1.5. Способы литья 35

2. Презентация Power Point 42

3. Приложения: диск с видеороликами и презентацией 90

Список литературы 91

**1. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

Литейная технология – это процесс получения литых заготовок путем заливки расплавленного металла в формы, полость которых повторяет конфигурацию отливки. При охлаждении металл отвердевает и принимает конфигурацию полости формы.

     Литьем получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких грамм до 300т, длиной от нескольких сантиметров до 20м, со стенками толщиной 0,5-500 мм(блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колеса, станины станков, станины прокатных станов, турбинные лопатки и т.д.

**1.1. ЛИТЫЕ ЧУДЕСА СВЕТА**

**Колосс Родосский**  — [гигантская статуя](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D1%81) [древнегреческого](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B8%D1%84%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) бога Солнца [Гелиоса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81), которая стояла в портовом городе [Родосе](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81_%28%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%29), расположенном на [одноимённом острове](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81_%28%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%29) в [Эгейском море](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B3%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5), в [Греции](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B8%D1%8F). Одно из «[Семи чудес света](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D1%8C_%D1%87%D1%83%D0%B4%D0%B5%D1%81_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0)».

После распада державы [Александра Македонского](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9) на Родосе закрепился Птолемей. После его утверждения в [Египте](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%95%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D1%82) он заключил с Родосом союз, контролирующий торговлю в восточном [Средиземноморье](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5). В [305 году до н.э.](http://ru.wikipedia.org/wiki/305_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B4%D0%BE_%D0%BD._%D1%8D.) сын другого [диадоха](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%85%D0%B8) [Антигона I Одноглазого](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D0%BD_I_%D0%9E%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D1%8B%D0%B9), [Деметрий I Македонский](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B9_I_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9), высадился на Родосе с сорокатысячным войском. Продержав главный город острова [в осаде](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%B0_%D0%A0%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%B0_%28305%E2%80%94304_%D0%B4%D0%BE_%D0%BD._%D1%8D.%29) целый год, несмотря на сооружение множества осадных орудий, он был вынужден отступить.

Народ Родоса решил продать брошенные осадные орудия и построить статую почитаемого ими бога Солнца [Гелиоса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81), чтобы отблагодарить его за заступничество. Гелиос был не просто особо почитаемым божеством на острове — по легенде он был его создателем: не имея места, ему посвящённого, солнечный бог вынес остров на своих руках из морской глубины.

Сначала родосцы заказали скульптору [Харесу](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%81_%28%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BF%D1%82%D0%BE%D1%80%29), ученику [Лисиппа](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BF) статую в десять раз выше человеческого роста, то есть 18-метровую. Но затем жители города потребовали увеличить высоту статуи в два раза, добавив к заплаченной сумме столько же. Но этой суммы не хватило, так как [при увеличении высоты вдвое объём материала увеличивается в восемь раз](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B0_%E2%80%94_%D0%BA%D1%83%D0%B1%D0%B0). Поэтому Харесу пришлось одолжить колоссальные суммы денег у близких, родственников и друзей.

Двенадцать лет трудился он над созданием почти 36-метрового бронзового гиганта. Когда работа над статуей была закончена, глазам поражённых родосцев предстал высокий и стройный юноша-бог с лучистым венцом на голове. Он стоял на белом мраморном постаменте, слегка отклонившись назад, и напряжённо всматривался вдаль. Статуя бога возвышалась прямо при входе в гавань Родоса и была видна с ближайших островов. Статуя была изготовлена из глины, в основе её был металлический каркас, а сверху она была покрыта бронзовыми листами.

После окончания строительства Харес был полностью разорён и окружён кредиторами, поэтому покончил жизнь самоубийством.

Для работы над изображением бога непосредственно на месте его установки Харес использовал оригинальный приём: с постепенным возвышением скульптуры поднимался и земляной холм вокруг неё; холм был впоследствии срыт, и статуя в полном виде была раскрыта изумлённым жителям острова.

На изготовление грандиозного монумента потребовалось 500 талантов бронзы и 300 талантов железа (соответственно около 13 и около 8 тонн). Колосс породил и своего рода моду на гигантские статуи, на Родосе уже во II в. до н. э. было установлено около ста колоссальных скульптур.

Колосс простоял шестьдесят пять лет. В [222 году до н. э.](http://ru.wikipedia.org/wiki/222_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B4%D0%BE_%D0%BD._%D1%8D.) статую разрушило [землетрясение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%8F%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Как пишет [Страбон](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%BD), «статуя лежала на земле, поверженная землетрясением и переломленная у коленей». Но и тогда Колосс вызывал удивление своими размерами. [Плиний Старший](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%88%D0%B8%D0%B9) упоминает, что лишь немногие могли обхватить обеими руками большой палец руки статуи (при соблюдении естественных пропорций человеческого тела это указывает на рост статуи в 200 футов или 60 м).

Обломки Колосса пролежали на земле больше тысячи лет, пока, наконец, они не были проданы [арабами](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B0%D0%B1), захватившими в [977 году](http://ru.wikipedia.org/wiki/977_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) [Родос](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81), купцу, который, как рассказывается в одной из хроник, нагрузил ими 900 [верблюдов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%BB%D1%8E%D0%B4).

Существовала легенда: когда воздвигли статую Колосса Родосского, случилось землетрясение, после которого она разрушилась. Статую снова восстановили, и опять случилось землетрясение. Мудрецы сказали, что если снова народ воздвигнет статую, то остров Родос уйдет под воду.

В ноябре 2008 года было объявлено о намерении реконструировать статую в виде светотехнической инсталляции. По словам руководителей проекта, конструкция будет в несколько раз выше своего оригинала — от 60 до 100 метров. Бюджет проекта оценивается в 200 миллионов евро, которые будут выручены у международных спонсоров, а также из личных средств немецкого деятеля искусств Герта Хофа (Gert Hof).

**Храм Зевса в Олимпии**

В западной части полуострова Пелопоннес, у подножья горы Кронион с незапамятных времен находилось святилище Альтис. Мифы говорят, что именно здесь Зевс победил своего отца Кроноса, но еще до появления храма Зевсу в роще диких маслин у реки Алфей находилось святилище богини земли Геи. Судя по раскопкам, место было культовым, начиная с XV века до нашей эры.

Изначально место было знаменито благодаря оракулу Зевса, но и после того как оракул прекратил предсказывать, священная роща Альтис не опустела – здесь начали проводить Олимпийские игры. В середине V века до н.э. в Олимпии был построен храм Зевса, ставший центром большого храмового комплекса.

В Олимпию приезжали со всей Греции принести жертвы богам перед серьезными начинаниями и после великих свершений. Храм Зевса в Олимпии был украшен множеством драгоценных даров – это были статуи, золотое оружие, кубки и чаши. Страбон упоминает статую Зевса из кованого золота, а Павсаний – 21 позолоченный щит. Но, конечно же, самым главным украшением святилища была грандиозная **статуя Зевса Олимпийского**работы Фидия.

**Статуя Зевса**

«Зевс сидит на троне», — с этих слов начинает описание статуи Павсаний. Страбон пишет, что если бы Зевс встал, то пробил бы головой крышу. Павсаний о размерах статуи умалчивает принципиально – «негоже измерять бога» — и говорит о том, что истинные размеры не совпадают тем впечатлением, которое статуя производит. Мы знаем, что статуя Зевса была высотой 12 м 37 см.

Статуя была вырезана из дерева, а затем покрыта пластинами из слоновой кости и золота – такую технику называли «хризоэлефантинной». В правой руке Зевс держал богиню Нику, а в левой – скипетр. Обнаженные части тела и лицо были сделаны из слоновой кости, а плащ и сандалии – из золота.

Пол храма выстлан черным мрамором, а вокруг статуи огорожено пространство, куда стекало оливковое масло. Попавшаяся в паре источников информация о том, что бассейн из масла был сделан для отражения света, ни Страбон, ни Павсаний не подтверждают. Масло использовали для защиты слоновой кости от сырости. Павсаний пишет, что в афинском Акрополе, где воздух слишком сухой, для защиты статуи Афины Парфенос, сделанной в той же «хризоэлефантинной» технике, использовали бассейн с водой.

**Царь - пушка**

  **Царь-пушка**, отлитая Андреем Чоховым, - старинное, крупнейшее в мире орудие. Она была создана в 1586 году в Москве, на Пушечном дворе, во время правления сына Ивана Грозного Федора Ивановича. Появление такого уникального произведения явилось закономерным результатом развития старейшей отрасли русского ремесла - литейного дела, которое было известно на Руси с X века. Длина этого огромного орудия составляет 5 м 34 см. Наружный диаметр ствола - 120 см, диаметр узорного пояса у дула - 134 см, калибр - 890 мм. Ствол Царь-пушки, отлитый из высококачественной бронзы, имеет коническую форму. Вся поверхность ствола украшена литыми фигурными фризами, орнаментальными поясами, надписями. Дульный и казенный обрезы ствола имеют высокие, выступающие над поверхностью пояса с фигурными пятилепестковыми розетками. Центральная часть ствола разделена выпуклыми орнаментальными и плоскими рельефными фризами. По бокам ствола расположено восемь литых скоб, предназначенных для укрепления канатов при перемещении пушки. Выше передней правой скобы вылита надпись "Божиею милостию царь и великий князь Федор Иванович государь и самодержец всея великая Росия". Здесь же литое изображение увенчанного короной царя Федора Ивановича, сидящего на коне со скипертом в руке. На верхней части ствола отлиты две надписи: справа- "Повелением благоверного и христолюбивого царя и великого князя Федора Ив новича государя самодержца всея великия Россия при его благочестивой и христолюбивой царице великой княгине Ирине", с левой стороны - "Слита бысть сия пушка в преименитом граде Москве лета 7094, в третье лето государства его. Делал пушку пушечный литец Ондрей Чохов". На казенной части орудия перед последним, задним широким поясом в стволе имеется затравочное отверстие. А д льше, на самом стволе, вырублено: "2400 пуд". Таков вес Царь-пушки, что сост вляет 39312 килограмм. В течение четырехстолетнего существования **Царь-пушка** не раз меняла свое место. В XVIII веке она была перемещена в Московский Кремль и сначала располагалась во дворе здания Арсенала, а затем у его главных ворот. Помещенная на лафет Царь-пушка была установлена напротив Арсенала. У ее подножия поместили четыре чугунных декоративных ядра, каждое весом 1000 килограммов. В 1960 году в связи с постройкой Кремлевского дворца съездов Царь - пушку торжественно переместили на Ивановскую площадь к церкви Двенадцати апостолов, где она находится и поныне.

**Царь - колокол**

  Вот уже более 150 лет у подножия колокольни Ивана Великого в Кремле на белокаменном постаменте хр нится уникальный памятник русского художественного литья XVIII века - зн менитый **Царь-колокол**. Еще в XVI-XVII веках в Москве, на Пушечном дворе, отлив ли колокола больших размеров, которые не дошли до наших дней. Иногда они разбив лись от времени, от слишком сильных ударов, но чаще всего получали повреждения во время пожаров. Так случилось и с Большим Успенским колоколом работы мастера Александра Григорьева, вес которого, по-видимому, достигал 8 тысяч пудов. Во время сильного пожара в Москве в 1701 году он упал и разбился на множество кусков. Позже было решено перелить его в новый колокол, увеличив при этом количество металла до 10 тысяч пудов. Согласно указу императрицы Анны Ивановны от 1730 года, отливка колокола возлагалась на Московскую канцелярию артиллерии и фортификации. Вести работу по проектированию и отливке колокола было поручено московскому мастеру Ивану Федоровичу Моторину, потомственному литейщику. Для установки формы будущего гиганта соорудили литейную яму десятиметровой глубины. Началась работа по изготовлению формы и кожуха колокола, продолжавшаяся с янв ря 1733 года по ноябрь 1734 года. Над изготовлением декоративных украшений и н дписей работали мастера пьедестального дела Василий Кобелев, Петр Галкин, Петр Кохтев, Петр Серебренников, формовщик Петр Луковников и скульптор Федор Медведев. Первая попытка отлить колокол окончилась неудачей. Вышли из строя литейные печи, вспыхнувший в Кремле пожар повредил деревянные конструкции. Восстановительные работы продолжались до ноября 1735 года. В это время умирает Иван Моторин. Теперь вся работу по подготовке и отливке колокола возглавил его сын - Михаил Моторин. Наконец, 25 ноября 1735 года **Царь-колокол** был отлит. На весь процесс отливки потребовался всего 1 час 12 минут. Габариты Царь-колокола весьма внушительны: вес его - более 200 тонн, высота 6 м 14 см, диаметр 6 метров 60 сантиметров. Последние исследования, проведенные в период реставрационных работ (1979-1980 годы), показали, что Царь-колокол изготовлен из типичной колокольной оловянистой бронзы с содержанием примесей и металлов (золото и серебро). Во время пожара в мае 1737 года от нер вномерного охлаждения колокол дал несколько трещин, и от него отвалился кусок весом 11,5 тонн. Более 100 лет пролежал Царь-колокол в литейной яме. Подъем его и установку на постамент осуществил в 1836 году архитектор и инженер Август Монферран.

**1.2. ИСТОРИЯ ЛИТЬЯ НА РУСИ**

Свой исторический путь развития многие народы нашей страны прошли так же, как и другие народы планеты, — от камня к бронзе и железу. На берегах Амура пять тысячелетий назад жили племена, создавшие очаг культуры, не уступающий культуре других племен того времени. Высокой культуры достигли жившие на Востоке страны чжуржени (предки некоторых наших восточных народностей); их культуру уничтожили монголы. Но еще за полторы тысячи лет до чжурженей в долине Енисея существовал один из древнейших очагов цивилизации кыргызов. Кстати сказать, у древних кыргызов было очень развито литейное ремесло: они, пожалуй, одни из первых в мире освоили технику литья цепочки (цельнолитые удила и др.).

Предки народов Советского Союза издревле славились высоким мастерством литья. Некоторые народы передавали литейное ремесло своим потомкам, и оно продолжало развиваться с развитием самих народов. Такова история развития народов Закавказья, южного Востока, предков славян и других народов нашей страны. Иногда завоеватели уничтожали культуру целых народов, на века затормаживали ее развитие или смешивались с покоренным народом и, обогащая друг друга, создавали новые ценности материальной культуры. Дошедшие до нас литые изделия Урарту, Скифии и народов Других государств, занимавших в древности обширные районы нашей страны, поражают своим совершенством.

Единственными законными наследниками древних культур на нашей территории являются ныне живущие на ней народности.

Народы, населявшие территорию нашей страны, очень давно умели изготавливать изделия из меди. В холмах Анау, близ Ашхабада, обнаружены медные изделия, относящиеся к концу IV — началу III тысячелетий до н. э. Особенно высокого уровня развития достигла металлургия на Северном Кавказе в середине III тысячелетия до н. э., далеко обогнав по темпам развития другие районы материковой Европы. К тому же времени относится появление медных изделий на территории теперешней Армении, Азербайджана, Грузии, а также Украины и Молдавии.

На огромной территории от Волги до Днепра металлические изделия появились в III тысячелетии до н. э., о чем свидетельствуют находки в катакомбных погребениях. Некоторые изделия этого времени, например булавки, представляют собой сложные отливки, для изготовления которых требовалось довольно развитое ремесло. Из этого можно заключить, что простые изделия из меди изготовляли значительно раньше.

В начале II тысячелетия до н. э. бронза получила распространение на огромной территории теперешних многих областей Советского Союза. Территория Казахстана, степной и лесостепной части Западной Сибири и Южного Приуралья была занята племенами с весьма однородными для всех мест памятниками так называемой андроновской культуры (по названию места первой находки у с. Андроново Красноярского края). Хотя андроновская культура и близка к культуре катакомб по многим признакам, развитие ее литейных ремесел находилось на более низком уровне. На рис. 1, *а* представлены изделия из бронзы андроновской культуры. Некоторые из литых находок представляют собой простейшие отливки, в то время как отливки катакомбной культуры сложнее и более качественно выполнены. Быть может это объясняется тем, что наиболее характерные отливки андроновской культуры пока не известны.



Рис. 1.

Очень близкую андроновской — так называемую срубную культуру (название происходит от способа погребения в срубных ямах под курганами) — создали в то же время племена, населявшие соседние районы — Поволжье и Причерноморье. Как и андроновская, срубная культура имеет много общего с катакомбной.

Многие отрасли хозяйства андроновской культуры, например гончарное дело и другие ремесла, были развиты значительно выше, чем срубной. Однако по изделиям из бронзы, дошедшим до нас, можно сделать обратный вывод. Племена срубной культуры имели высокоразвитое литейное ремесло. Об этом можно судить не только по отливкам, но и по найденным при раскопках литейным формам. На рис. 1, *б*приведены некоторые бронзовые изделия из сосново-мазенского клада Среднего Поволжья. Наряду с изделиями, простыми по своей конструкции и технике исполнения, имеются также отливки, требовавшие сложных литейных форм (даже если эти формы и были каменными).

Таким образом, можно сделать вывод, что многие племена на территории нашей страны уже к концу III — началу II тысячелетия до н. э. обладали развитыми литейными ремеслами и изготовляли сложные литые орудия труда и оружие.

Рис. 2. Литые удила:

*а — г —* тагарской культу­ры;

*д*, е — кобанской культуры;

*ж —* Северного Кавказа (V—IV вв. до н. э.).

**ТРУДНО ЛИ ОТЛИТЬ УДИЛА?**

Сейчас изготовление удил не представляет никакой трудности: их из стали может отковать любой кузнец даже в маленькой деревенской кузнице. Но в глубокой древности, когда железо только начало входить в жизнь человека, удила делали литыми. Каким бы простым изделием ни казались на первый взгляд удила, для их литья требовалось незаурядное мастерство древних литейщиков. Сложность заключалась в том, что звенья удил должны быть влитыми друг в друга так, чтобы они могли свободно вращаться, изгибаться с помощью колец на конце звена. Литье подобных деталей,

например цепей, и для современных литейщиков связано с определенными трудностями. У древних же литейщиков их было чрезвычайно много. Не будет преувеличением, если мы скажем, что в старину могли лить удила лишь там, где было хорошо развито ремесло литья, где литейщики проявляли истинное мастерство и выдумку.

В разных районах нашей страны уже в I тысячелетии до в. э. были известны совершенные способы литья удил. Интересно отметить, что почти в одно и то же время у разных племен существовали особые, самобытные приемы: на Енисее удила отливали иначе, чем на Северном Кавказе или в Средней Азии. Но какой бы способ литья мы ни изучали, все они свидетельствуют о том, что народы, населявшие нашу страну 2500—3000 лет тому назад, владели техникой литья, не уступавшей технике народов на Западе или Востоке, за пределами теперешних границ СССР.

Высокого для того времени уровня организации племени и культуры достигли древние кыргызы на Енисее. Кыргызские литейщики владели мастерством изготовления сложных отливок, применяли в технике литья оригинальные приемы. К тому времени многие народы владели секретом литья по восковым моделям. Владели этим искусством и кыргызы.

Археологические находки на среднем течении Енисея и в других районах Сибири свидетельствуют о том, что уже в VII в. до н. э. металлургия начала складываться в особую отрасль производства. Особенно высокого уровня развития достигли бронзолитейные ремесла тагарской культуры (название получено по острову Тагарскому). Их изделия были распространены по всей Сибири, а также встречались на Дальнем Востоке и в Европейской части СССР. Около V в. до н. э. здесь начала развиваться металлургия железа. Тагарские бронзовые отливки (кинжалы, ножи, украшения, бытовые предметы, детали конской сбруи) отличались большим разнообразием и художественным исполнением. Многие из них украшены литыми художественными изображениями звериного стиля.

Большого мастерства достигли тагарские литейщики в литье конских удил. Форме их придавалась пластичность, своеобразная тонкость и чистота исполнения (рис. 2, *а—г).*Подробное исследование тагарских удил, хранящихся в Государственном историческом музее (г. Москва), позволяет точно установить, что они отливались по восковым моделям. Одновременно лились оба звена. Современный литейщик отдает себе отчет в том, какое высокое мастерство для этого требовалось, так как даже сейчас литье по спаренным восковым моделям представляет большие трудности.

Раскопки у с. Кобан (отсюда название кобанская культура) свидетельствуют о том, что уже на грани II и I тысячелетий до н. э. жители Северного Кавказа умели отливать сложные отливки, часто прекрасно орнаментированные. Многие бронзовые отливки снабжены тонкой и художественно исполненной инкрустацией из железа. Племена этой культуры знали уже литье в металлические формы (или, как теперь принято называть, кокильное литье).

В период кобанской культуры впервые начинают использовать лошадь в домашнем хозяйстве для верховой езды и как тягловую силу. Удила кобанской культуры — своеобразные произведения искусства. Это — сложные отливки, изготовление которых требовало хорошей техники литья. Здесь уже встречаются четырехзвенные удила (рис. 2, *ж)*с особым видом псалий (вертикальные стержни на концах удил), а также удила, звенья которых отлиты заодно с псалиями. Причем, последние представляют собой красивые художественные отливки, например в виде двух лошадиных голов, с несколькими тонкими ушками-пронизями.

Удила отливались не по спаренным моделям, а методом налива одного звена на другое с использованием восковых моделей. Этот же метод применялся и для ремонта других удил: на рис. 2, *д* представлены удила, в которых левое звено налито на отломавшуюся псалию. Нет необходимости подчеркивать, что в творчестве мастеров кобанской культуры был особый «почерк». Для них характерно стремление делать отливки дерзкой сложности и почти всегда как самостоятельные художественные произведения.

Примерно в то же время своеобразная техника литья удил существовала у некоторых народов Средней Азии. Здесь, очевидно, в V—IV вв. до н. э. преобладали каменные формы. В них отливали даже удила. Но сама техника литья не становилась от этого примитивней. Напротив, древние мастера Средней Азии на примере техники литья удил демонстрируют перед нами большое искусство.

В Государственном историческом музее хранятся ничем не примечательные удила этого периода, найденные близ озера Иссык-Куль. Неизвестно, по какой причине удила не были использованы в работе и даже не были обработаны после литья: на них сохранились литники, заливы и т. п. (рис. 2, *е).* Именно это позволило с большой достоверностью восстановить очень сложную технологию литья, которая была применена почти 2500 лет тому назад. Отливались они в каменных формах последовательно, то есть сначала отливалось одно звено, а затем к нему во второй форме приливалось второе. На стыке звеньев применен сложный глиняный разъемный стержень; он не только служил для выполнения отверстия в кольце второго звена, но в нем располагалось и кольцо уже готового звена. Такой прием литья удил в те древние времена представляется весьма совершенным.

Итак, можно отметить, что древние предки наших народов, жившие 2500—3000 лет тому назад, располагали хорошо налаженными литейными ремеслами и выявили разностороннее мастерство в сложном деле литья удил.



Рис. 3. Каменные литейные формы (древняя Грузия):

*а —* бердыша;

*б —* топора

**БРОНЗОВОЕ ЛИТЬЕ ДРЕВНЕЙ ГРУЗИИ**

Особенность истории металлургии некоторых закавказских народов заключается в строгом, последовательном чередовании основных эпох и этапов ее развития (использование самородной меди, бронзовое литье, кованое железо и др.), что не всегда можно обнаружить в истории других народов. Исследователи объясняют эту самобытность металлургии отсутствием такого фактора, как влияние завоевателей или пришлых народов. Такая особенность ярко выявлена у древних племен на территории теперешней Грузии.

Племена древней Грузии познали литье еще в эпоху ранней бронзы. Исследователями установлено, что здесь первоначально бронза не использовалась для получения фасонных отливок. Первые бронзовые отливки были заготовками простейшей формы, из которых при помощи ковки или других способов обработки изготовляли нужное изделие. Лишь постепенно такие грубые отливки стали заменяться фасонными литыми изделиями. Как и у других народов, первым материалом литейных форм в древней Грузии был камень.

Какие первые фасонные отливки были у народов древней Грузии? Известно, что племена, заселявшие территорию теперешней Грузии и некоторых смежных районов, вели непрерывные войны. Нашествия варваров мешали развитию картвельских племен. Однако высокогорная и пересеченная местность позволила им самоотверженно защищать свою страну от завоевателей, часто располагавших превосходством военной мощи, развивать самобытную материальную культуру. В. А. Куфтин отмечает, что «цветущая культура Триалети, при тесном общении с передовой цивилизацией Древнего Востока, своими корнями уходит в местный энеолит, предвещающий своим своеобразным художественным развитием достигнутый в середине II тысячелетия до н. э. культурный подъем».

Рис. 4. Часть формы рукоятки меча (древняя Грузия).

Значительную часть изделий ранней бронзы составляют разного вида оружие, ножи и топоры, которые также можно отнести к оружию того времени. На многих изделиях, особенно таких массивных, как топоры, литое их происхождение можно обнаружить не только тщательным микроструктурным анализом, но и по следам литья — разного рода литым узорам. Топор из абхазского дольмена, крюк и другие находки, тщательно исследованные академиком Ф. Н. Тавадзе и его учениками, говорят о существовании у древних картвелов достаточно развитого литейного производства; оно позволяло применять разные способы литья, шнуровой рисунок (выполненный с помощью воскового шнура) для орнаментовки и пр. Эти находки свидетельствуют о большом скачке в технике литья: от грубых заготовок до изделий с тонким рисунком. По-видимому, более ранние фасонные отливки переходного периода археологами пока не обнаружены.



Рис. 5. Литой барс (древняя Грузия).

Особенно высокого развития достигло литейное ремесло на территории древней Грузии в период средней: бронзы. Хотя по-прежнему основными литыми изделиями оставались топоры и разного вида оружие, но наряду с ними изготовляется большое количество разнообразных украшений.

Хорошо зарекомендовавшая себя ранее каменная литейная форма для отливок простой конфигурации остается основной и в этот период, но мастера Грузии умело используют большие ее возможности. Разнообразные варианты изготовления каменных форм относятся ко II тысячелетию до н. э. Применяются формы не только с горизонтальным, но и с вертикальным разъемами (рис. 3), что требовало уже тщательной и точной подгонки. Выбор положения формы при заливке, а также рациональное устройство литниковой системы (верхний подвод в массивную часть формы через увеличенный литник) — свидетельство высокой техники литья. Об этом также говорят отливки в сложных формах, полученных по выплавляемым моделям, и применение глиняных стержней в каменных формах.

В период поздней бронзы (конец II тысячелетия—первые века I тысячелетия до н. э.) в Грузии происходит дальнейший подъем металлургии и литейного дела. Появляются различные сплавы, совершенствуются литейные формы: даже в каменных формах устраиваются газоотводные каналы, выпора п т. п. Получает дальнейшее развитие литье по восковым моделям. Ф. Н, Товадзе установил оригинальную технологию литья рукоятки меча с применением восковой модели (рис. 4).

Интересно и художественное литье первых веков I тысячелетия до н. э. Оно свидетельствует о высоком уровне литья по восковым моделям и самобытности грузинского художественного литья. Литой барс из Самтавро (рис. 5) — произведение мастеров-умельцев древней Грузии, не уступающее подобным произведениям в других частях света того времени.

**ЛИТОЙ ЛЕВ УРАРТУ**

В развитии литейных ремесел древних племен Закавказья и Скифии значительную роль сыграла урартская техника литья, особенно техника художественного литья.

Многие племена Армянского нагорья, теснимые завоевателями (главным образом Ассирией), стойко оборонялись, объединяясь в племенные союзы. И хотя походы Ассирии в этот район с XI в. до н. э. прекратились, но консолидация сил племен продолжается и в XI—Х вв. до н. э. Она привела к образованию государства Урарту.

Раскопки на территории Закавказья и на Ближнем Востоке свидетельствуют о высокоразвитой материальной культуре государства Урарту. В этот период наблюдался особенно большой расцвет художественного бронзового литья. Очевидно, достаточное количество меди позволяло не только изготовлять орудия труда и оружие из бронзы, но использовать ее и для других целей. Появляются великолепные художественные изделия: фигурная мебель, художественное оружие, всевозможные статуэтки. Урартские отливки, представляющие собой сложные и высокохудожественные изделия, изготовлялись, как правило, по восковым моделям.

Многие другие дошедшие до нас литые изделия убедительно свидетельствуют о существовании в Урарту высокоразвитой техники литья.

**ЛИТЬЕ НАКОНЕЧНИКОВ СТРЕЛ**

Почти тысячу лет скифы населяли наше Северное Причерноморье. Они обосновались на огромной территории от Дона до Дуная. Появились скифы там в VIII в. до н. э., вытеснив пришлых ранее киммерийцев, родственных иранским племенам.

Вскоре скифы проникают в Переднюю Азию, а в 50-х годах VIII в. до н. э. — в Малую Азию, подчиняют себе многие племена, представляя угрозу даже для сильных по тому времени народов. Скифы становятся огромной политической

силой, их вождей называют царями.

В IV в. до н. э. скифы переходят частично к оседлому образу жизни. В III в. до н. э. складывается Скифское государство, достигшее наибольшего расцвета во II в. до н. э. при царе Скуларе. Получают большое развитие разные ремесла и особенно металлургические. Скифы впитали в себя культуру многих народов Древнего Востока (прежде всего культуру Урарту) и Причерноморья (праславянских племен, эллинских колонистов и др.). Несомненно, скифы влияли и на культуру соседей, с которыми они зачастую имели мирные торговые отношения.

Рис. 6. Часть литейной формы (*а*), стержень

(*б*) скифского бронзового наконечника стрелы

(*в*) и половинка предски-фского четырехместного кокиля (г).

Скифы ввели в военном деле массовую конно-стрелковую тактику, начали применять стрелы с граненым втулчатым наконечником из бронзы. Большая потребность в них вызвала необходимость создания особого способа их изготовления. К тому времени во всем мире существовало два основных способа изготовления отливок: в каменных формах и по восковым моделям. Ни один из этих способов не позволял решить задачу массового изготовления наконечников стрел. И скифы пошли по совершенно новому пути — применили металлические формы.

Литье в металлические формы связано с определенными трудностями и требует достаточно высокой культуры производства. Удивительным является то, что в Скифии около двух с половиной тысяч лет тому назад успешно применили этот способ.

Самым сложным и для современного литья в кокиль является выполнение внутренних отверстий в отливке. В наше время поступают таким образом: наружную поверхность отливки выполняют в металлической форме, а для различного рода сквозных и глухих отверстий применяют песчано-глинистые стержни. Только в редких случаях прибегают к стержням металлическим.

Глиняные стержни были известны скифам, но они не применяли их для получения глубоких и узких отверстий в наконечниках стрел. Возможно, причиной было то, что глиняные стержни не позволяли получать отверстия более или менее постоянных размеров. Для стрел же важное значение имела своеобразная взаимозаменяемость наконечников. Кроме того, если применять глиняные стержни, в отливках возможны различного вида дефекты (раковины и т. п.), из-за которых могли снижаться боевые качества стрел. Очевидно, именно эти причины заставили скифских литейщиков прибегнуть к такому смелому решению — к применению металлических стержней.

Скифские литейные формы наконечников обычно состояли из двух или трех металлических частей (рис. 6, *а*), формировавших наружную поверхность отливки, и стержня (рис. 6, *б*), предназначенного для выполнения внутреннего отверстия наконечника (рис. 6, *в*)*.* Собранная форма скреплялась специальными обручами и устанавливалась вертикально. Для этого наружный конец стержня вставляли в землю или в соответствующее отверстие специального приспособления. Ряд таких форм заливали расплавленной бронзой через верхнее отверстие. Впоследствии верхнюю часть отливки (прибыль) отламывали, а место излома в наконечнике соответствующим образом затачивали.

Чтобы применить такой способ литья стрел, скифским литейщикам надо было обладать богатым опытом и хорошо развитым литейным ремеслом. Видимо, они использовали опыт других народов.

Б. А. Шрамко, рассматривая вопрос о первооткрывателях кокильного литья наконечников, указывает, что лесостепные племена Восточной Европы применяли кокили для литья наконечников стрел еще в предскифское время. Такое мнение основывается на весьма важной археологической находке из Новочеркасского клада — четырехместном кокиле для литья наконечников (рис. 6, *г*)*.*

Так как сейчас нет сведений о заимствовании кокильного литья у народов других стран, то можно предположить, что кокильное литье впервые в Европе было применено лесостепными племенами доскифского периода или скифами, населявшими наше Северное Причерноморье. Опыт скифского литья в кокиль позже был утрачен. Возник он вновь в России лишь в XVII в.

**1.3. ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ.**

В существующих ГОСТах регламентируется качество более 200 литейных сплавов.
Отливки из 400 литейных сплавов изготовляются по техническим условиям, принятым изготовителем и, естественно, потребителем.
Кроме того, практически из любого сплава (металла), даже нелитейного, можно изготовить отливку.
Поэтому ограничений по сплавам, а также по отливкам, которые принимают форму под действием силы тяжести, практически нет.
Основными критериями могут быть экономический фактор и возможность выполнения технических требований на предприятии.

Фасонные литые изделия используют во всех без исключения областях промышленности, строительства и быта.
В повседневной жизни нас повсеместно окружают отливки: металлические украшения, детали квартирных замков, сковородки, чугунки, ванны, краны, радиаторы, литые детали механизмов и машин.
В среднем на долю литых деталей приходится около 50% массы машин и механизмов, а их стоимость достигает 20...25% стоимости машин.

Сплавом называют вещество, образованное сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами (железо с углеродом, алюминий с кремнием и т.п.).
В зависимости от метода получения заготовок сплавы подразделяют на литейные и деформированные.
В состав сплава входят: основа, легирующие добавки и примеси.
Основой сплава является металл, обычно один, определяющий его служебные свойства и стоимость.

Л е г и р у ю щ и м и называют элементы, которые вводятся в сплав специально для управления его служебными и технологическими свойствами.
П р и м е с я м и называют элементы, содержание которых незначительно и которые попали в сплав из руды, топлива, атмосферы, шлаков.

По воздействию на служебные характеристики сплава примеси подразделяются на вредные, т.е. снижающие свойства сплавов (например, S и Р во многих сплавах), и нейтральные, не оказывающие влияния на его свойства.
Отдельную группу составляют модификаторы — вещества, вводимые в малых количествах с целью управления главным образом размерами и формой зерна.

Сведения из теории плавления, кристаллизации и затвердевания металлов и сплавов.

**ПЛАВЛЕНИЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА.**

Для литейного производства необходим расплавленный жидкий металл,который должен принимать конфигурацию литейной формы сминимальными затратами энергии (в большинстве случаев должно быть достаточно силы тяжести).

 При нормальных условиях и начальной температуре Тн металл находится в твердом состоянии, т. е. чтобы перевести его в жидкое состояние, металл необходимо нагреть до температуры плавления.
Процессы нагрева, плавления и перегрева до температуры заливки Тзал  чистых металлов и эвтектических сплавов характеризуются изменением температуры металла (рис.1.) и его объема (V1 при температуре Тзал; V2, V3 при Ткр и Vо при Тн) (рис.3).


Рис. 1. Кривая нагрева чистого металла или эвтектического сплава


Рис. 2. Изменение объема чистого металла или эвтектического сплава при нагреве

Температура фазового перехода из твердого состояния в жидкое Tкр в течение некоторого времени сохраняется постоянной, при этом наблюдается скачкообразное увеличение объема и соответствующее уменьшение плотности.
Постоянство температуры свидетельствует о равенстве количества теплоты, подводимой к металлу, и количества теплоты, расходуемой на его плавление, т. е. сообщаемой металлу так называемой скрытой теплоты плавления.
Поэтому, несмотря на нагрев металла, температура его в этот период остается постоянной.

Явление скачкообразного увеличения объема при плавлении (оно составляет чаще всего 2...7%), а следовательно, и соответствующего ему уменьшения объема при затвердевании создает серьезные проблемы для технологов при производстве отливок, так как является причиной усадочных раковин и усадочной пористости.

Причиной увеличения объема металла при нагреве на атомном уровне является не только увеличение амплитуды колебательных движений атомов по мере повышения температуры, но и их отрыв от узлов обычного равновесного состояния при температуре плавления.

**КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПЛАВА.**

У литейщиков принято разделять два понятия: затвердевание и кристаллизация.
Понятие з а т в е р д е в а н и я используется при определении объемов затвердевшего металла, толщин затвердевшей корки и времени затвердевания.
К р и с т а л л и з а ц и я используется при рассмотрении зарождения кристаллов, совместного их роста и формирования кристаллического строения отливки.

Образования кристаллов при переходе вещества из жидкого в твердое состояние принято называть «первичной кристаллизацией».
Изменение формы кристаллов в твердом состоянии называют «вторичной кристаллизацией».
Описательная теория кристаллизации металлов была создана Д.К. Черновым в 1870-е гг.
В начале ХХ в. Г. Тамман своими опытами показал, что для зарождения кристалла необходимо переохлаждение жидкого металла, что при отсутствии переохлаждения скорость кристаллизации и скорость возникновения центров кристаллизации равны нулю.

П е р е о х л а ж д е н и е м называется процесс охлаждения металла ниже температуры Ткр его равновесного перехода в другое фазовое состояние до температуры Т1.
Эту разность температур (Ткр—Т1) обозначают ΔТпереохл (рис. 3).


Рис. 3. Кривая охлаждения с переохлаждением

Для зарождения твердого кристалла необходима затрата энергии на образование поверхности раздела фаз — возникающей твердой и жидкой, поэтому в гомогенной (однородной) жидкости без переохлаждения зародыши возникнуть не могут (гомогенная кристаллизация).

Каждая фаза — жидкий металл 1, твердое тело 2 (рис. 4)— характеризуется индивидуальной зависимостью своей свободной энергии от температуры.
При температуре кристаллизации Tкр система фаз находится в динамическом равновесии, так как свободная энергия обеих фаз одинакова.
Устойчивей будет фаза, обладающая меньшей свободной энергией Гиббса, так как любая система стремится к равновесию, т.е. к состоянию, в котором значение ее свободной энергии в данных условиях минимально.


Рис. 4. Схема зависимости свободной энергии Гиббса G жидкой (1) и твердой (2) фаз от температуры

Охлаждение системы от равновесной температуры Tкр кристаллизации до температуры Т1 переводит ее в состояние, когда твердая фаза (зародыш) будет обладать меньшей свободной энергией и будет более устойчивой.
Разности температур ΔТпереохл соответствует разность свободных энергий жидкости (ж) и твердого (тв) тела:

Gж—Gтв = ΔG. (1)
Величина общей свободной энергии складывается из объемной и поверхностной:

ΔGv+ΔGs = ΔG. (2)
Если предположить, что зародыши имеют форму шара с радиусом r, то объемную энергию, за счет которой происходит снижение (—) общей свободной энергии, можно выразить через объем шара, теплоту кристаллизации L и относительное переохлаждение ΔТпереохл/Ткр:

ΔGv = - [LΔTпереохл / Tкр] · 4/3 πr3. (3)
В то же время повышение энергии (+) происходит в результате образования шаровой поверхности раздела фаз:

ΔGs = σ4πr2. (4)
Графически равенство (4) отражено на рис. 5.


Рис. 5. Схема изменения свободной энергии системы в зависимости от радиуса сферического зародыша при различном переохлаждении

При малых значениях радиуса зародыша решающее значение будет иметь поверхностная часть энергии (+), при больших — объемная (—).
Между этими значениями, очевидно, существует критическое значение rкр, которому соответствует максимум энергии ΔG.

По мере увеличения радиуса rкр зародыша ΔG будет уменьшаться, а его устойчивость будет сохраняться, и зародыш сможет расти.
Размеры флюктуаций (группировок) с радиусом, меньшим rкр будут представлять собой неустойчивые дозародыши.

При переохлаждении ΔTпереохл = 0 радиус критического зародыша будет стремиться к бесконечности, и, следовательно, при температуре кристаллизации зародыш возникнуть не может.
При увеличении переохлаждения критический размер rкр зародыша будет уменьшаться, т.е. радиус устойчивого гомогенного зародыша связан с переохлаждением гиперболической зависимостью.

В реальных сплавах всегда присутствуют нерастворимые примеси, которые могут быть (и являются) твердыми подложками при кристаллизации.
Очевидно, что у зародыша, образовавшегося на таких примесях, меньшая по сравнению с теоретической поверхность (например, не полностью шар, а лишь сегмент шара на плоской подложке), и для его образования потребуется соответственно меньшее переохлаждение, чем для гомогенного зародыша такого же объема.
Образование зародышей на подложке называется г е т е р о г е н н ы м.

Изменения переохлаждения можно достичь изменением скорости охлаждения.
По данным профессора [Б. Б. Гуляева](http://lmx.ucoz.ru/load/litejnoe_proizvodstvo/litejnye_i_formovochnye_processy_doktora_guljaeva_b_b/2-1-0-47) при сравнительно больших скоростях охлаждения малоуглеродистой стали в тигле диаметром 10 мм достигалось значительное переохлаждение.
При увеличении диаметра тигля до 20 мм переохлаждение уменьшилось.
При дальнейшем увеличении диаметра тигля до 70 мм и соответствующем уменьшении скорости охлаждения термопара, установленная в центре, не фиксировала переохлаждение.

Диаметр тигля, в котором не отмечалось переохлаждения в центре, для алюминия был равен 100 мм, для сурьмы — 200 мм.
Поэтому разные металлы имеют разную склонность к переохлаждению.
Для больших масс переохлаждение жидкого металла отмечается перед фронтом кристаллизации и составляет 0,1...0,01 °С.

*На основании описанных, а также других данных можно заключить, что с увеличением скорости охлаждения (затвердевания) переохлаждение увеличивается и, как результат, уменьшается размер зерна в отливке.*

Уменьшение поверхностного натяжения, а следовательно, и уменьшение размера зерна может быть осуществлено введением в расплав поверхностно-активных добавок (модификаторов).

Уменьшение размеров зерна при увеличении переохлаждения связано с тем, что от переохлаждения зависят два параметра, известные из теории кристаллизации: введенная Г. Тамманом в начале ХХ в. скорость *зарождения центров кристаллизации* n (число центров, появляющихся в единичном объеме за единицу времени) и *линейная скорость роста кристаллов* v.

Оба эти параметра имеют одинаковый характер зависимости от переохлаждения (рис. 6).


Рис. 6. Схемы зависимостей скорости n зарождения центров кристаллизации и линейной скорости v роста кристаллов от переохлаждения

Практически в обоих случаях реализуются только входящие ветви этих кривых.
Единственное различие заключается в следующем.
Величина ΔТ " определяет интервал переохлаждения, в котором скорость и зарождения кристаллов практически равна нулю и который называется интервалом метастабильности расплава.
Величина ΔТ " также определяет переохлаждение, но в данном интервале не происходит рост кристалла за счет перехода атомов из расплава в кристалл.
Следует отметить, что, как правило, ΔТ ' > ΔТ ".
Поэтому при размещении на одном графике кривые n и v будут смещены одна относительно другой, а их взаимное положение существенно влияет на окончательный размер зерна.
Например, при малых скоростях затвердевания и соответственно малых ΔТпереохл кристаллизация характеризуется малой скоростью и зарождения центров кристаллизации, но линейная скорость v роста при этом переохлаждении будет значительна, и в отливке образуется крупнозернистая структура.
С увеличением переохлаждения скорость n зарождения кристаллов будет увеличиваться, а скорость v роста кристаллов может не реализоваться, если иметь в виду один и тот же объем расплава.

Можно заключить, что скорость зарождения кристаллов n, скорость роста кристаллов v и критический размер зерна rкр зависят от переохлаждения и, следовательно, от скорости затвердевания или толщины стенки отливок, которая является одним из важных факторов, определяющих скорость затвердевания.

Кроме того, рассмотрение подробностей кристаллизации позволило расширить представление об известной зависимости (чем больше скорость охлаждения (затвердевания), тем мельче зерно отливки), установить наряду с тепловыми иные факторы управления размером зерна и объяснить многие экспериментальные сведения.

Типичной составляющей структуры отливки являются дендриты — древовидные разветвленные кристаллы.
Дендритное строение металла выявляется на макрошлифах.
Каждый дендрит образует отдельное макрозерно.
При травлении в зерне выявляются системы осей, располагающиеся под определенными углами одна к другой.
Границы между дендритами выявляются менее отчетливо, чем между округлыми зернами, которые также могут возникнуть в литой структуре.

**1.4. СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ.**

     Литейными называют ряд свойств металлов и  сплавов, определяющих их технологичность  в литейных процессах, т. е. пригодность  для получения из них отливок  необходимой конфигурации, с высокими эксплуатационными свойствами, заданной размерной точностью и требуемым качеством поверхности. Литейные свойства проявляются как в расплавах, так и на всех стадиях их затвердевания и охлаждения. Важнейшими литейными свойствами сплавов являются жидкотекучесть, усадка, склонность к образованию неметаллических включений, к поглощению газов, ликвации, склонность к образованию внутренних напряжений и трещин.
     ***Жидкотекучесть***
     Жидкотекучесть  — способность металлов и сплавов  в расплавленном состоянии заполнять  литейную форму, четко воспроизводя контуры ее и поверхность. При низкой жидкотекучести движение расплава в форме может прекратиться раньше, чем она будет заполнена. Это наиболее вероятно при изготовлении крупных тонкостенных отливок, особенно если сплав в форме быстро охлаждается (например, при литье в металлические или сырые песчаные формы). Жидкотекучесть сказывается на заполняемости формы расплавом, четкости воспроизведения рельефа полости формы. На жидкотекучесть оказывают влияние многие факторы, связанные со свойствами, состоянием и строением расплава (его природа, температура при заливке, фазовый состав, вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость и теплопроводность, наличие включений, газонасыщенность, степень окисленности, интервал кристаллизации), а также с состоянием и свойствами формы (например, ее температура, теплофизические свойства, состояние поверхности, газотворность и газопроницаемость) и условиями заливки (конструкция и размеры литниковой системы, напор расплава, скорость заливки, характер движения потока и т. д.).
      Для определения жидкотекучести предложены различные пробы, отливаемые  в формах специальной конструкции.  Наиболее распространены различные  разновидности спиральных проб. Формы для отливки таких проб  имеют протяженный спиральный  канал, расположенный в горизонтальной плоскости. Поперечное сечение канала постоянно по всей длине и имеет обычно форму трапеции высотой 8 мм, шириной вверху 8 мм и внизу 7 мм. Жидкотекучесть оценивается в миллиметрах по длине отлитой спирали. Для удобства замеров в верхней части канала сделаны выступы, расстояния между которыми 50 мм.

        ***Усадка***
     Усадка - свойство металлови сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в  процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры  окружающей среды. Различают объемную и линейную усадки, выражаемые обычно в процентах.
       Результатом объемной усадки  являются усадочные раковины  и поры в отливке, для предупреждения  образования которых используют  различные технологические приемы: применяют прибыли и холодильники, направленное затвердевание,  суспензионное литье, кристаллизацию под поршневым давлением и др. При суспензионном литье в поток расплава, заполняющего литейную форму, вводят металлический порошок. Замешанные в расплав твердые металлические частицы выравнивают температуру в наружных и внутренних слоях отливки, уменьшают усадку, являются многочисленными центрами зарождения кристаллов при затвердевании расплава, что приводит к получению отливок с равномерной по сечению мелкокристаллической структурой. Однако суспензионный метод из-за значительного снижения жидкотекучести расплава малопригоден для изготовления тонкостенных, сложных отливок при заливке форм под действием гравитационных сил (без дополнительного давления).
       Линейная усадка является одним  из важнейших литейных свойств  сплавов, учитываемых при проектировании технологического процесса литья, так как величиной ее во многом определяется размерная точность получаемых отливок. Следует учитывать, что в реальных отливках линейная усадка может протекать свободно и затрудненно. Если свободная линейная усадка для сплава определенного состава и конкретных условий заливки его является величиной достаточно постоянной, то затрудненная усадка может изменяться в весьма широких пределах в зависимости как от факторов, определяющих величину свободной усадки, так и от многих других, прежде всего от конструкции той части отливки, где находится контролируемый размер, и податливости литейной формы. Так, обмерами сложной по конфигурации стальной отливки, изготовленной из углеродистой конструкционной стали, было установлено, что в местах, где линейная усадка была сильно затруднена, величина ее на ряде размеров была близка к нулю, но в других частях, где она протекала свободно, достигала 2,5%.
       При высоких требованиях к  размерной точности отливок, особенно  в условиях крупносерийного и массового производства, вначале по наиболее дешевой деревянной модельной оснастке изготовляют опытные партии отливок, обмерами их определяют линейную усадку для каждого из контролируемых размеров, после чего производят доводку модельной оснастки либо изготовляют новую, более точную (например, металлическую) для выпуска промышленных партий деталей. Это позволяет за счет повышения размерной точности отливок уменьшить припуски на их механическую обработку, сократить расход металла и трудоемкость изготовления деталей. При изготовлении штучных отливок или при выпуске их небольшими партиями оснастку изготовляют с учетом средних значений линейной усадки сплава, а неточности контролируемых размеров отливки компенсируют припуском на ее механическую обработку.
     ***Газопоглощение***
     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***
     Ликвация  — неоднородность химического состава  литейного сплава в различных  частях отливки, возникающая при  ее затвердевании, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его жидкой и твердой фазах. Различают дендритную и зональную ликвацию. Дендритная ликвация — это химическая неоднородность, проявляющаяся в пределах одного дендрита — кристалла древовидной (ветвистой) формы. Причиной ее является так называемая избирательная кристаллизация, вследствие которой оси дендритов, растущие первыми, содержат меньше примесей, а затвердевающая позже между осями часть расплава обогащается этими примесями.

**1.5. СПОСОБЫ ЛИТЬЯ**

Существует несколько способов изготовления отливок. Перечислим основные из них : литье в песчаные формы(ПФ), литье в кокиль(К), литье по выплавляемым моделям(ВМ), литье под давлением(Д).

**1.5.1. Литье в песчаные формы.**

      **Сущность процесса** заключается в изготовлении отливок свободной заливкой расплавленного металла в песчаную форму. После затвердевания и охлаждения отливки осуществляется ее выбивка с одновременным разрушением формы.

      **Материалы и оснастка.**

  1) Песчаная форма (ПФ) – разовая литейная форма, изготовленная из уплотненной формовочной смеси. ПФ состоит из двух полуформ. Для образования отверстий применяются песчаные стержни.

  2) Типовые составы формовочных и стержневых смесей. 

  3) Модельный комплект : модель детали, модели элементов литниковой системы, модельные плиты, стержневые ящики.

  4) Опоки.

      **Основные технологические операции.**

  1)Изготовление полуформ по модельным плитам(наиболее распространенными способами уплотнения смеси при машинной формовке являются прессование, встряхивание и их сочетание).

  2)Изготовление стержней.

  3)Сборка формы с простановкой стержней и подготовка ее к заливке.

  4)Заливка форм расплавленным металлом.

  5)Затвердевание и охлаждение отливок.

  6)выбивка отливок из форм и стержней из отливок.

  7)отделение литниковой системы от отливок, их очистка и зачистка.

  8)контроль качества отливок.

**Возможные дефекты отливок, причины и меры по их устранению.**

  1)Недоливы и спаи. Образуются от неслившихся потоков металла, затвердевающих до заполнения формы. Возможные причины: холодный металл, питатели малого сечения.

  2)Усадочные раковины – закрытые внутренние полости в отливках с рваной поверхтностью. Возникают вследствие усадки сплавов, недостаточного питания. Устраняют с помощью прибылей.

  3)Горячие трещины в отливках возникают в процессе кристаллизации и усадки металла при переходе из жидкого состояния в твердое при температуре, близкой к температуре солидуса. Склонность сплава к образованию горячих трещин увеличивается при наличии неметаллических включений, газов, серы и других примесей. Образование горячих трещин вызывают резкие перепады толщин стенок, острые углы, выступающие части. Высокая температура заливки также повышает вероятность образования горячих трещин.

  Для предупреждения образования горячих трещин в отливках необходимо обеспечивать одновременное охлаждение толстых и тонких частей отливок; увеличивать податливость литейных форм; по возможности снижать температуру заливки сплава.

  4)Пригар – трудноудаляемый слой формовочной или стержневой смеси, приварившийся к отливке. Возникает при недостаточной огнеупорности смеси или слишком большой температуре металла.

  5)Песчаные раковины – полости в теле отливки, заполненные формовочной смесью. Возникают при недостаточной прочности формовочной смеси.

  6)Газовые раковины –полости отливки округлой формы с гладкой окисленной поверхностью. Возникают при высокой влажности и низкой газопроницаемости формы.

  7)Перекос. Возникает из-за неправильной центровки.

**Область применения.**

Применяют во всех областях машиностроения. Получают отливки любой конфигурации 1…6 групп сложности. Точность размеров соответствует 6…14 группам. Параметр шероховатости Rz=630…80мкм.

Можно изготавливать отливки массой до 250т. с толщиной стенки свыше 3мм.

**Преимущества.**

-         конфигурация 1…6 групп сложности

-         возможность механизировать производство

-         дешевизна изготовления отливок

-         возможность изготовления отливок большой массы

-         отливки изготовляют из всех литейных сплавов, кроме тугоплавких

**Недостатки.**

-         плохие санитарные условия

-         большая шероховатость поверхности

-         толщина стенок > 3мм

-         вероятность дефектов больше, чем при др. способах литья.

**1.5.2. Литье по выплавляемым моделям.**

     **Сущность процесса** заключается в изготовлении отливок заливкой расплавленного металла в тонкостенные, неразъемные, разовые литейные формы, изготовленные из специальной огнеупорной смеси по разовым моделям. Разовые выплавляемые модели изготовляют в пресс-формах из модельных составов. Перед заливкой модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием и т.д. Для устранения остатков модельного состава и упрочнения форма нагревается и прокаливается. Заливка осуществляется в разогретые формы для улучшения заполняемости.

     **Материалы и оснастка.**

  1)Модельная форма состоит из модельного состава(парафин, стеарин, церезин, канифоль и т.д.).

  2)Формовочная смесь : 2ч. пылевого кварца, 1ч. связующего материала.

3)Пресс-форма для изготовления моделей.

  4)Литейная форма.

  5)Вибрационная установка.

     **Основные технологические операции изготовления форм и отливок.**

  1)Приготовление модельного состава.

  2)Изготовление моделей отливки и элементов литниковой системы или секции моделей.

  3)Сборка моделей или секций моделей в блоки.

  4)Изготовление литейной формы.

  5)Подготовка литейных форм к заливке и заливка металла в горячую форму.

  6)Затвердевание и охлаждение отливки в форме.

  7)Снятие формы с отливки.

     **Область применения.**

  Этим способом можно отливать изделия из различных сплавов любой конфигурации 1…5 групп сложности массой от нескольких грамм до 250кг с толщиной стенок от 1мм. Припуск на механическую обработку составляет 0.2-0.7мм.

  Применяется в различных областях машиностроения.

     **Преимущества.**

-         Можно получать отливки из тугоплавких изделий.

-         Получают конфигурации отливок 1…5 групп сложности.

-         Высокая точность геометрических размеров и малая шероховатость поверхности.

     **Недостатки.**

-         длительность процесса

-         дороговизна

**1.5.3. Литье в кокиль.**

     **Сущность процесса** заключается в изготовлении отливок из жидкого расплава свободной его заливкой в многократно используемые металлические формы – кокили, обеспечивающие высокую скорость затвердевания жидкого расплава и позволяющие получать в одной форме от нескольких десяток до нескольких тысяч отливок.

     **Материалы и оснастка.**

  1)форма отливки – кокиль

  2)расплавленный металл

  3)теплоизоляционное покрытие

     **Последовательность изготовления отливок.**

  1)Подготовка кокиля к работе : очистка от остатков теплоизоляционного покрытия, нагрев до температуры 150-200 и нанесение свежего слоя теплоизоляционного покрытия толщиной 0,1…0,5мм, а на литниковые каналы и прибыли до 1мм.

  2)Сборка кокиля : установка стержней, соединение частей кокиля.

  3)Заливка расплавленного металла в кокиль.

  4)Затвердевание и охлаждение отливки.

  5)Удаление из отливки металлических стержней (если они есть) после образования в ней достаточно прочной корки.

  6)Извлечение отливки из кокиля после ее охлаждения до температуры 0,6…0,8 от температуры солидуса.

  7)Охлаждение или подогрев кокиля до оптимальной температуры 200-300С и подкраска(при необходимости) рабочей поверхности кокиля.

     **Область применения.**

  Применяют в автомобиле и танкостроении.

  Литьем в кокиль изготавливают отливки из чугуна, стали и цв. сплавов. Трудно получить сложные стальные отливки ввиду значительной усадки литейных сталей, что ведет к образованию трещин(в отсутствии податливости формы). Целесообразно применять в серийном, крупносерийном и массовом производствах. Этим способом изготавливают отливки из стали массой до 160кг., из цв. сплавов – до 50кг. с толщиной стенок от 3 до 100мм. Точность размеров соответствует 4…12 классам. Можно изготавливать отливки 1…5 группы сложности. Параметр шероховатости поверхности Rz = 80…20мкм.

     **Преимущества.**

-         повышенная точность геометрических размеров (по сравнению с литьем а ПФ)

-         снижение шероховатости поверхностей отливок (по сравнению с литьем а ПФ)

-         снижение припусков на механическую обработку на 10-20%

-         лучше санитарно-гигиенические условия

-         мелкозернистая структура отливок( > прочность)

**Недостатки.**

-         сложность изготовления кокилей, их ограниченный срок службы (особенно при литье черных сплавов)

-         неподатливость кокиля и металлических стержней

-         затруднен вывод газов из полости формы

**1.5.4. Литье под давлением.**

**Сущность процесса** заключается в получении отливок путем заливки расплавленного металла в металлическую форму (пресс-форму) под принудительным внешним давлением от 30 до 100Мпа. Конечное давление на расплав может достигать 490Мпа. Давление снимается посте полного затвердевания отливки в пресс-форме.

     **Материалы и оснастка.**

  1)пресс-форма

  2)смазка (машинное масло)

  3)прессующая машина

     **Основные технологические операции.**

  1)Очистка пресс-формы.

  2)Нагрев пресс-формы до 120…220С и покрытие поверхности смазкой.

  3)Сборка пресс-формы.

  4)Залив расплавленного металла в камеру прессования и запрессовка расплава под давлением в полость пресс-формы.

  5)Охлаждение и затвердевание отливки под внешним давлением.

  6)После затвердевание отливки внешнее давление снимается и извлекается отливка.

     **Область применения.**

  Используется для изготовления отливок цветных металлов сложной конфигурации с тонкими стенками массой до 45кг.

  Применяется в машиностроении.

     **Преимущества.**

-         получают сложные тонкостенные отливки

-         низкая шероховатость поверхности, следовательно, снижается механическая обработка отливок на 90-95%

-         высокая точность геометрических размеров

-         мелкозернистая структура

-         улучшенные санитарно-гигиенические условия

**Недостатки.**

-         высокая стоимость пресс-формы, сложность ее изготовления

-         наличие газовоздушной пористости

-         ограничение номенклатуры получения отливок по размерам и массе.