

Б.Б. Гуляев

Литейные процессы

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
Б11

Б11 **Б.Б. Гуляев**
Литейные процессы / Б.Б. Гуляев – М.: Книга по Требованию, 2021. – 415 с.

ISBN 978-5-458-48624-8

ISBN 978-5-458-48624-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ее плавка не была известна до проникновения евреичев, металл обрабатывался исключительно путемковки в холодном состоянии.

В египетских папирусах и вавилонских глиняных табличках второго и третьего тысячелетия до нашей эры бронза упоминается как заурядный металл. В поэмах Гомера, жившего за тысячу лет до нашей эры, описывается много медных изделий. Число обнаруженных археологами древних изделий из чистой меди и чистого олова ничтожно по сравнению с числом бронзовых изделий. Гипотеза о получении бронзы из комплексных руд меди и олова мало вероятна, так как на территории древнего мира такие руды почти не встречались.

В Европу бронза поступала как привозной товар. Однако отливки из нее делали на месте. Литейщики Восточной Европы в конце первого тысячелетия нашей эры достигли высокого совершенства в изготовлении отливок. Первоначально отливка производилась в каменные формы так же, как на востоке. Позднее получило распространение литье по выплавляемым моделям. Этот метод приготовления форм был хорошо известен скифам. Еще позднее формы начинают изготовлять в глине путем получения отпечатка готового изделия. Заливка производилась из тиглей или маленьких ковшей — льячек. Форма в Древней Руси носит название калыбь; позднее это слово вытесняется словом опока, идущим от обозначения белого известняка, из которого делались формы [3].

В первом тысячелетии нашей эры в производстве орудий труда железо полностью вытеснило цветные сплавы, но получать из него отливки еще не умели. Цветные сплавы оставались материалом для изготовления бытовых предметов (котлов) и украшений, получающихся в значительной части путем отливки.

История развития литейного производства в России до XIX в. наиболее полно описана в монографии Н. Н. Рубцова [14].

В конце XII, начале XIII вв. литейное производство в Древней Руси достигло наивысшего расцвета. Форма литых изделий усложнилась. Появились двухсторонние формы из твердых пород камня, в которых отливались остовы замков, церковная утварь, ажурные украшения и т. д. Для их получения приходилось применять сравнительно сложные литниковые системы. Применялись даже пробы на жидкотекучесть [3]. Термин «литейщик» еще не существовал. Соответствующих ремесленников называли «кузнецы злату, серебру, меди». Монгольское нашествие надолго остановило развитие культуры и ремесел в Древней Руси.

В XIV — XV вв. получила развитие отливка колоколов и пушек. Литейщики, изображаемые на рисунках того времени, держат в руках льячку и молоток (очевидно отливки требовали много работы по исправлению дефектов и чеканки). Сколько-нибудь связанных литературных описаний литейной техники за весь этот период не возникает. Ремесло передается изустно от одного поколения литейщиков к другому в виде разрозненных рецептов.

Основным литейным материалом второго периода явился чугун. В Китае чугунное литье было известно задолго до нашей эры.

По литературным материалам упоминания о нем встречаются еще в IV в. до нашей эры [4]. Наиболее древние чугунные отливки в Европе относятся к 1377—1350 гг. Имется предположение, что техника чугунного литья была занесена в Европу монгольскими войсками, достигшими в 1240 г. Австрии и Адриатики [4, 5]. Известно, что монгольская армия имела специальный китайский инженерный корпус. Если техника чугунолитейного производства и не была целиком заимствована от китайцев, то во всяком случае европейцы могли узнать от них о возможности изготовления чугунных отливок. Возможно так же, что техника чугунного литья была разработана в разных районах независимо друг от друга [6].

В XV в. создается доменное производство, дающее жидкий металл для получения отливок. Техника формовки основывается на применении глины, иногда смешанной с шерстью. Ядра и пушки формуются по шаблону. В 1445 г. появляются чугунные водопроводные трубы, в 1469 г. — гири для городских весов. В конце пятнадцатого века входят в моду чугунные литые печи, украшенные барельефами [7].

В XVI в. чугунное литье распространяется по всей Европе. Появляется чугун второй плавки. Возникает формовка в сыром песке вместо применявшейся ранее жирной глины. Для сообщения формовочному песку пластичности и прочности в него вводят различные добавки (руководствуясь примерно теми же принципами, что и сейчас) — его увлажняют растворами солей, вином, мочой, уксусом и т. д. Появляются упоминания о формовке в ящиках (опоках).

В России при Иване Грозном пушечно-литейное производство выходит на первое место в Европе. Выдающимся русским «литцом» XVI в. является Андрей Чохов [8]. Первая его известная работа — медная пищаль. «На ней орел двоголавый, наверху орла три травы, у казны трава ж, в травах надпись: «лета 7076 (1568 г. нашей эры); делал Кашпиров ученик Андрей Чохов». Наиболее крупной работой Чохова является Царь-пушка. «...Слита бысть сия пушка преименитом и царствующем граде Москве, лета 7094 (1586 г.) в третье лето государства его» . . . (подпись находится под изображением Федора Иоанновича на коне). Вес пушки 2400 пудов (40 т), калибр — 1 аршин $4\frac{3}{4}$ вершка; длина $7\frac{1}{2}$ аршин. Пушка предназначалась для стрельбы каменной дробью. Ядра, помещенные рядом с пушкой, отлиты значительно позднее и отношения к ее изготовлению не имеют.

Чохов отлил большое количество других пушек. К концу жизни он, по-видимому, являлся старшим мастером на Пушечном дворе. Умер около 1630 г.

В XVII в. литейная техника совершенствовалась незначительно. В 1682 г. чугунные литые трубы использованы при сооружении версальского водопровода с его знаменитыми фонтанами.

В XVIII в. резко расширяется номенклатура литья. Возникает машиностроение, основанное на использовании металлических деталей. В 1726 г. отливается первый паровой цилиндр; в 1767 г. делается попытка применить литые чугунные рельсы; в 1778 г. строится первый чугунный мост; изготавливается во все возрастающем коли-

честве чугунная посуда [7]. В 1774 г. Баташов строит первую вагранку. К концу XVIII в. присмы ручной формовки складываются окончательно и последующее развитие техники мало что к ним прибавляет [9]. Отливки начинают делать из чугуна второй плавки, и литейные цехи включаются в состав машиностроительных заводов.

Интересным документом начала XVIII в. является указ Петра Первого, представляющий собой своеобразные технические условия на литейные пушки [10]. Он требует: «... чтобы в литейные пушки были чисты, в стенах плотны и не ноздреваты и в середине не с раковинами, а надо всем прямы и не кривороты, гладки и не в ноздриках и не шадровиты, чтобы в стрельбе никакой опасности людям и паче пушкарям не было...». В другом документе устанавливается следующее отношение заказчика к исполнителю: «... А буде мастера московские учнут пушки опять лить кривороты и со всякими охулками, худые и к делу негодны и им сказать буде в том не исправятся, быть из них кому повешену . . . » (1706 г.).

Выдающимся литейщиком XVIII в. был представитель династии московских колокольных мастеров — Иван Федорович Моторин [11]. Им был изготовлен Царь-колокол, являющийся до настоящего времени непревзойденной по размерам цельной бронзовой отливкой. Работы по изготовлению формы для колокола начались в январе 1733 г.; заливка была произведена сыном Ивана Моторина — Михаилом — 24 ноября 1735 г. Вес колокола 12 327 п. 19 ф. (200 т). Колокол, являясь сложнейшим инженерным сооружением, отличается одновременно высокими художественными достоинствами. Колокол формовался в глине по кирпичной кладке. Заливался из 4-х печей в течение 25 мин. Состав металла: 84,5% меди, 13,9% олова.

В конце XVIII в. в России была изготовлена еще одна выдающаяся отливка — памятник Петру Первому «Медный всадник». Сам памятник и его отливка были выполнены выходцем из Франции — скульптором Э. М. Фальконе. Форма изготовлялась около года. Заливка была произведена 24 августа 1775 г. Вес статуи 1350 пудов (22 т). Верхняя часть памятника имеет толщину стенки 7,5 мм, нижняя — 30 мм. При громадных размерах памятника заполнение такой тонкостенной отливки явилось бы сложной задачей даже для современного литейщика.

XIX в. характеризуется дальнейшим расширением масштабов литейного производства. В связи с необходимостью отливки крупных деталей весом 10 т и больше совершенствуется техника заливки.

В 1838 г. Несмит (изобретатель парового молота) изобрел ковш с шестеренным приводом; в 1854 г. Бернар изобрел стопорный ковш; в 1876 г. Д. К. Чернов усовершенствовал его и придал ему конструктивные формы, сохранившиеся до настоящего времени. В 1827 г. зарегистрировано применение модельных плит. В 50-х гг. появляются разъемные модели и первые попытки создания формовочных машин [6].

В первых сочинениях по металлургии Брингуччио (1540 г., Италия) и Агриколы (1556 г., Германия) излагаются основы полу-

чения отливки, но места им отводится очень мало. Агрикола, в частности, пишет: «Железо, выделенное из руды, может жидко плавиться и отливаться... Если его затем освободить от шлака и проковать,... то плавиться и отливаться в таком состоянии оно уже не может...».

Ученые XVIII в. обращают внимание на развитие чугунного литья. В особенности много сделал в этом направлении Реомюр, построивший в 1772 г. первую литейную лабораторию. Он написал сочинение о кристаллизации металлов при застывании (1727 г.); открыл способность чугуна расширяться при затвердевании; занимался ковким чугуном; начал применять чугунные опоки [6]. В первой русской технической книге «Первые основания металлургии или рудных дел», написанной М. В. Ломоносовым и изданной Российской Академией Наук в 1763 г., вопросы литья отражены весьма кратко.

В технической литературе начале XIX в. описание литейной техники входит как раздел в курсы технологии. В книге русского академика И. Ф. Гмелина «Химические основания ремесел и заводов» [12], содержащей 673 страницы, металлургия занимает 109 стр., а из них металлургия железа 20 стр. По поводу литья в этой книге написано: «Чугун... может вылит быть во всяком желаемом виде, и потому весьма пригоден на литые товары». В книге Ив. Двингубского «Начальные основания технологии» [13] из 292 стр. литейному производству отводится 4 стр. В ней описаны основные приемы ручной формовки, литья из медных сплавов и чугуна. В книге акад. В. Севергина «Начертание технологии минерального царства» [15] из 609 стр. — 289 стр. отводится металлургии и около 15 стр. — литейному производству. Автор пишет относительно чугуна: «Великая легкость, с коей его плавят и отливают в формах, соделывает его способным на приготовление великого множества снадобья». Наконец, в 1859 г. выходит в Харькове первая русская отдельная книга по литейному производству, написанная горным инженером А. Ф. Мевиусом под названием «Чугунолитейное производство, или систематическое изложение всех способов и приемов, употребляемых для получения литейного чугуна, приготовления моделей, производства формовки, отливки и окончательной отделки разных чугунных изделий» [16]. Книга дает систематическое описание всей современной техники литья. Из 1083 стр. ее текста около 20 стр. отведено рассмотрению процессов, протекающих в металле при заполнении им формы и затвердевания. Описаны основные дефекты отливки, указаны принципы конструирования литниковых систем. Мевиус подчеркивает: «Располагая на приличном месте литники, выбирая соответственные формовочные материалы и вообще производя формовку и отливку с должным знанием дела, — литейщик очень значительно может ослабить вредное влияние неравномерного охлаждения, если только не встретит непреодолимых препятствий в моделях, либо рисунках, неправильно и без всякого знания литейного дела составленных».

Таким образом, к концу этого периода — к третьей четверти прошлого века — в технической литературе выросло самостоятель-

ное направление — литейное дело. Научный анализ литейных процессов пока отсутствует, но уже сложилась система описания основных технологических операций изготовления отливок.

Литейным материалом, потребовавшим наибольшего труда при освоении, в течение третьего периода явилась сталь. Разливка стали в слитки стала возможной с появлением тигельного процесса. В России литье стальных слитков впервые было освоено П. П. Аносовым в тридцатых годах прошлого века [17].

Обсуждая возможность изготовления фасонных стальных отливок, в 1878 г. Д. К. Чернов [19] писал: «...как бы, однако, не были велики препятствия к достижению вышеуказанной цели, нельзя отказаться от настойчивого преследования ее ввиду тех громадных выгод, какие представляет способ получения предметов отливкою в формы».

Первой фасонной стальной отливкой в Западной Европе считается стальной колокол, отлитый Якобом Майером на заводе Бохум в Германии в 1887 г. Сталь из первой мартеновской печи в России, построенной А. А. Износковым в 1870 г., шла на литые снаряды. В 1882 г. на Московской выставке были представлены фасонные отливки из тигельной стали. Систематическое изготовление стальных отливок в песчаных формах впервые было освоено А. С. Лавровым и С. М. Прокудиным-Горским на Гатчинском заводе в период 1881—1891 гг. [18].

В связи с успехами металлургии легких сплавов в 10-х годах нашего века было освоено изготовление отливок из алюминиевых сплавов и в 20-х годах — из магниевых сплавов. Каких-либо принципиальных трудностей изготовление отливок из легких сплавов для техники того времени не представляло. Поэтому оно не может рассматриваться как самостоятельный этап развития литейного производства.

Прогресс в области литейного производства за последний период происходил по линии конструирования различных формовочных машин, разработки связующих добавок для формовочных смесей самого разнообразного характера, создания новых и совершенствования свойств старых литейных сплавов. Характерной особенностью этого периода являлось создание и развитие специальных способов литья.

Литье в металлические формы применялось при изготовлении чугунных ядер еще в XVI — XVII вв. В первой четверти XIX в. в металлические формы отливали валки с отбеленной поверхностью [20].

Первый патент на получение отливок во вращающиеся формы был взят в Англии в 1809 г. Однако центробежное литье труб впервые в промышленном масштабе было освоено де Лаво в Бразилии только в 1914 г. Первые опыты по центробежной отливке чугунных труб производились перед первой мировой войной на Путиловском заводе, но не получили дальнейшего развития в России.

Литье под давлением из легкоплавких сплавов впервые было использовано при изготовлении типографских шрифтов изобретате-

лем лентипа Ленстоном в середине XIX в. В 1877 г. Дуженбергом был взят первый патент на поршневую машину для литья под давлением. В 1907 г. Ван-Вагнер сконструировал первую пневматическую машину для литья под давлением [21].

Литье по выплавляемым моделям, хотя и было известно в глубокой древности, однако только в годы второй мировой войны было применено для получения особо сложных мелких стальных деталей, машин и приборов. За короткое время этот процесс был существенно усовершенствован и получил значительное развитие.

В годы второй мировой войны И. Кронингом разработан процесс литья в оболочковые формы на термореактивном связующем, получивший сейчас значительное распространение.

Способ непрерывного формирования листа из жидкого металла во вращающихся валках впервые был предложен Г. Бессемером в 1857 г. [22]. Один из первых патентов на непрерывное литье слитков был взят М. Дутером в 1909 г. Существенное усовершенствование внес в него Юнганс в 30-х годах [23]. Однако непрерывное литье цветных металлов в промышленном масштабе получило применение только в сороковых годах, а стали — за последние годы.

Наряду с интенсивным ростом объема и совершенствованием технологии литейного производства, за последние сто лет работа по его научному обобщению чрезвычайно расширилась во всем мире. Ниже будет рассмотрено формирование теории литейных процессов как науки только в России и Советском Союзе. Необходимость серьезной разработки теории разливки и затвердевания металла возникла в связи с появлением способов получения жидкой стали. Основоположниками теории литейных процессов в XIX в. являются классики русской металлургии П. П. Аносов, Н. В. Калакуцкий, А. Ф. Мевиус, Д. К. Чернов и А. С. Лавров.

П. П. Аносов (1799—1851), разрабатывая технологию отливки слитков, делает ряд ценных наблюдений и обобщений [17, 24]. В работе «О приготовлении литой стали» (1837 г.) он отмечает, что мастер «не должен торопиться с выливкой, ибо скоро вылитая сталь дает большую усадку и может в самой форме получить поперечные трещины». Наблюдая за процессами затвердевания металла, он констатирует: «... что принадлежит до кристаллования булата, то он, находясь в тигле, не может вдруг охладиться, а, выделяя теплоту через тигель, постепенно густеет ...» Н. В. Калакуцкий (1831—1889) создает теорию внутренних напряжений в артиллерийских стволах и отливках [25, 26]. Совместно с А. С. Лавровым он дает впервые анализ процесса затвердевания металла в форме. Работы Д. К. Чернова (1839—1921) по изучению формирования стальных слитков сыграли особо важную роль в развитии науки [19, 27]. В работе «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок» (1878 г.), он дал номенклатуру структурных зон литого металла, сохранившуюся до настоящего времени, рассмотрел механизм возникновения основных видов неоднородности слитков, разработал конкретные предложения по улучшению их качества и по повышению свойств литого металла. В конце XIX в. им создан оригиналь-

ный курс сталелитейного дела, в котором много внимания уделено литейным процессам. В 1904 г. вышла книга А. С. Лаврова [28, 29] «Работы и заметки по литейному делу», подводящая итоги всех его работ, которую можно считать первой специальной монографией по литейным процессам.

В этой книге четко различаются пустоты, образующиеся в слитках «от усадки и от выделения газов, поглощенных металлом во время его плавки». Анализируется механизм формирования усадочных раковин в фасонных отливках и описываются почти все известные в настоящее время меры борьбы с ними. Впервые дается описание ликвации в стали, а также выливания жидкого остатка как метода исследования процесса затвердевания. Обсуждаются меры борьбы с усадочной пористостью и трещинами. Дается развернутая методика проектирования литниковых систем и прибылей. Оценивая уровень культуры литейного производства своего времени, А. С. Лавров пишет: «... кто такой в большинстве случаев у нас в России литейщик? Обыкновенно это простой мастер, когда плохо грамотный, выбившийся из простых рабочих своей исправностью, толковостью, сметкою ... Интеллигентных техников, получивших солидную теоретическую подготовку, на этом поприще встречается у нас мало».

Годом позднее появилась первая попытка обобщения опыта формовки, предназначенная для рабочих. Это книга литейного мастера Аркадия Колесова «Заметки и советы старого формовщика» [30]. Он высказывает мысли, перекликающиеся с мыслями А. С. Лаврова: «Много написано хороших руководств по самым разнообразным отраслям технического производства, только наше формовочное дело сравнительно осталось в стороне, как будто бы забытое ученым миром. Опытных формовщиков, правда, у нас уже немало, но, к сожалению, большинство из них малограмотные. Наше литейное дело живое, разнообразное, а поэтому всегда интересное, дающее постоянную пищу уму и воображению».

На рубеже XIX и XX вв. создается ряд учебников литейного производства для высших технических учебных заведений. В 1897 г. выходит первое издание курса лекций по литейному производству А. П. Гавриленко [31], который выдержал 4 издания. В двадцатых годах в Германии создается обширная монография (242 печатных листа) К. Гейгера «Литейное дело», переведенное под ред. Н. Н. Рубцова на русский язык в 1935—1939 гг. [32]. В 1931 г. выходит книга В. Е. Грум-Гржимайло [419], в которой значительное внимание уделяется процессам формирования отливок. В 1932 г. выходит в первом издании книга М. Е. Евангулова [33], выдержавшая 6 изданий. Эти книги содержат обобщения производственного опыта, но носят почти исключительно описательный характер. Анализу литейных процессов в них отводится не более 7—8% объема, но и он носит исключительно качественный и умозрительный характер.

Империалистическая и гражданская войны останавливают развитие литейного производства. Однако с 20-х годов работа в этой области резко расширяется. В 1930 г. под руководством Н. Н. Рубцова в МВТУ организуется кафедра литейного производства, которая

к настоящему времени выросла в обширную школу. В этот же период организуется кафедра литейного производства в Ленинградском политехническом институте, возглавляемая Ю. А. Нехендзи и Н. Г. Гиршовичем. Кафедра литейного производства, специализирующаяся в области цветных сплавов, организуется А. А. Бочваром и А. Г. Спасским в Московском институте цветных металлов и золота. Новый научный литейный центр во главе с А. А. Горшковым и А. А. Рыжиковым складывается в 30-х годах в Свердловске. Систематические исследования проблемы кристаллизации стального слитка впервые начинаются в начале 30-х годов в Ленинграде под руководством акад. Н. Т. Гудцова. Первые итоги этих работ подводятся в книге И. Я. Гранат и А. К. Жегалова «Кристаллизация и строение стального слитка» [34]. В дальнейшем, основанная Н. Т. Гудцовым лаборатория вырастает в широко разветвленную школу исследователей литого металла.

Первой научно-исследовательской лабораторией, занявшейся проблемами литейного производства, явилась литейная лаборатория, организованная в 1928 г. в Ленинграде под руководством П. П. Берга. Одной из первых проблем, которой занялась лаборатория, явилась проблема формовочных материалов. Итоги этих исследований были изложены в книге П. П. Берга «Курс формовочных материалов» [109], впервые в мировой литературе заложившей теоретические основы учения о формовочных материалах. В начале 30-х годов организуются литейные лаборатории ЦНИИТМАШа. К концу 30-х годов формируется группа физиков, изучающих процессы кристаллизации металлов, возглавляемая В. И. Даниловым. Научные основы проектирования литейных цехов разработаны Л. И. Фанталовым [35]. Принцип проектирования литейного оборудования разрабатываются Н. П. Аксеновым и П. Н. Аксеновым [36].

В научной литературе последнего времени все отчетливее выявляется самостоятельность теории литейных процессов. В современных общих учебниках «Литейное производство» П. Н. Бидули [37] и «Технология литейного производства» под ред. Л. М. Мариенбаха [38] вопросам анализа литейных процессов отводится от 20 до 25% объема. Ряд книг целиком посвящается теории литейных процессов. В книгах Ю. А. Нехендзи «Стальное литье» [39] и Н. Г. Гиршовича «Чугунное литье» [327] основным содержанием является литейное металловедение. В книгах П. П. Берга «Курс формовочных материалов» [109] и «Основы учения о формовочных материалах» [40] рассматриваются свойства формовочных смесей. В книге Н. Г. Спасского «Основы литейного производства» [41] наибольшее внимание уделено процессам получения отливок из цветных сплавов и заполнения форм; в книгах А. А. Рыжикова «Улучшение качества отливок» [42] и «Теоретические основы литейного производства» [43] — затвердеванию и усадочным процессам. В книге А. А. Вейника «Тепловые основы теории литья» [44] дается теория затвердевания отливок. В книге Н. Н. Рубцова «Специальные виды литья» [45] изложены особенности изготовления отливок в металлические формы и различные виды точного литья.

Громадный материал по теории и практике литейного производства обобщен в трудах многочисленных конференций по различным проблемам, собираемых по несколько раз в год НТО литейщиков и литейной секцией НТО машиностроительной промышленности в Москве, Ленинграде, Киеве, Свердловске, Горьком, Харькове, Ростове на Дону и др.

Важную роль в объединении советских литейщиков для коллективной работы по созданию теории литейных процессов за последние годы играют ежегодные совещания научных работников и производителей, созываемые комиссией по технологии машиностроения Института машиноведения АН СССР, возглавляемой акад. В. И. Дикуншиным.

В 1955 г. состоялось первое совещание по гидродинамике расплавленных металлов [46], в 1956 г. второе — по затвердеванию металлов [47], в 1957 г. третье — по усадочным процессам [48], в 1958 г. четвертое — по проблеме кристаллизации металлов [49]; в 1959 г. пятое — по точности отливок, в 1960 г. шестое — по теории формовки.

Таким образом, к настоящему времени сформировалась самостоятельная наука — теория литейных процессов, являющаяся теоретической базой технологии литейного производства.

Общий объем мирового производства отливок в настоящее время может быть оценен примерно в 46—50 млн. *т*. В том числе приблизительно 38—40 млн. *т* чугунных отливок, 5,5—6,5 млн *т* стальных отливок и 2,5—3,0 млн. *т* отливок из цветных сплавов. Производство отливок в современных передовых промышленных странах составляет 15—20% (в среднем 17%) от производства стали в слитках.

Распределение отливок по различным литейным материалам в наиболее развитой капиталистической стране — США в 1956 г. характеризуется данными, приведенными в табл. 3.

В 1957 г. из общего числа литейных цехов отливки из серого чугуна производили 2259 цехов, стальные отливки — 437, отливки

Таблица 3

Литейный материал	Выпуск в млн. <i>т</i>	Изготовление в %
Серый чугун	13,86	76,46
Ковкий чугун .	0,95	5,94
Сталь	1,93	10,65
Медные сплавы	0,43	2,37
Цинковые сплавы . .	0,30	1,65
Алюминиевые сплавы .	0,36	1,98
Магниеые сплавы	0,30	1,65
Всего:	18,03	100,0

из ковкого чугуна — 109, исключительно отливки из цветных сплавов — 3127 цехов. Из общего числа цветнотелитных цехов изготовляли отливки из латуни и бронзы — 2363 цеха, алюминиевые отливки — 3111, магниевые отливки — 218 и цинковые отливки — 864.

Из общего числа литейных цехов 157 изготовляли отливки по выплавляемым моделям, 590 — в оболочковых формах, 1080 — под давлением, 755 — в металлических формах и 229 — центробежным литьем.

В Советском Союзе выпуск отливок имеет несколько иную структуру — чугунные отливки в нем занимают около 80%. По данным Н. Д. Орлова [50], в общем выпуске цветных отливок медные сплавы занимают 25%, алюминиевые 68%, магниевые 3%, цинковые 4%.

В табл. 4 дается уровень производства отливок в некоторых странах за последние годы [420].

Таблица 4

Страна	Год	Производство отливок в млн. т	Страна	Год	Производство отливок в млн. т
США .	1929	9,66	Германская Демократическая Республика	1955	0,93
	1937	8,45			
	1955	15,8	Польская Народная Республика	1956	0,8
СССР .	1912	0,51	Чехословацкая Республика	1956	0,76
	1928	0,55			
	1933	2,07	Италия	1954	0,71
	1937	3,54	Швеция	1956	0,42
	1941	5,30	Дания	1956	0,15
	1955	11,4	Финляндия	1956	0,129
	1958	13,5			
Германия	1929	3,13	Федеративная Народная Республика Югославии	1956	0,127
	1937	3,59			
Федеративная республика Германии	1956	3,7	Мировое производство	1929	~ 22,0
Англия	1930	1,94		1956	~ 46,0
	1956	4,3			
Франция	1956	1,4			

Таблица 5

Виды литья	Выпуск в %	
	США	ФРГ
Литье по выплавляемым моделям	0,27	0,005
Литье в оболочковые формы	0,95	0,22
Литье под давлением	3,00	0,77
Всего:	4,2	1,0