

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»
(для бакалавров)

Составитель
И. В. БЕЛЯЕВ

Владимир 2010

УДК 621.74

ББК 34.61

М54

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
кафедры литейных процессов и конструкционных материалов
Владимирского государственного университета
В.А. Кечин

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория литейных процессов» (для бакалавров) / Владимир. гос. ун-т ; сост. И. В. Беляев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009 – 30 с.

Разработаны в соответствии с учебной программой курса «Теория литейных процессов» и служат руководством к проведению лабораторных работ в рамках данного курса.

Содержат сведения о свойствах металлических расплавов и методах их оценки, кинетике кристаллизации сплавов и влиянии ее на микро- и макроструктуру отливок, процессах затвердевания отливок и связанных с ними процессах изменения объема отливки, образования усадочных полостей, изменения линейных размеров, возникновения внутренних напряжений в отливках.

Приведены рекомендации по организации занятий, последовательности и методике выполнения лабораторных работ, а также рекомендации по составлению отчетов, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Предназначены для бакалавров специальности 150100 – металлургия, а также для студентов 2-го курса очной и заочной форм обучения специальностей 150104 – литейное производство черных и цветных металлов, 150204 – машины и технология литейного производства.

Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.74

ББК 34.61

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные работы по дисциплине «Теория литейных процессов» составлены в соответствии с учебным планом и направлены на закрепление теоретических знаний по данной дисциплине.

Перед началом практических занятий студенты должны самостоятельно изучить описание лабораторной работы, теоретический материал по теме, используя рекомендованную литературу, и составить краткое описание методики работы, схем и эскизов используемых установок и приборов, таблицы технологических параметров основных процессов.

Прежде чем приступить к занятиям, преподаватель должен ознакомить студентов с задачами лабораторной работы, последовательностью ее выполнения, требованиями, предъявляемыми к отчету, правилами внутреннего распорядка лаборатории, провести инструктаж по правилам техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Усвоение этих правил подтверждается подписью в журнале техники безопасности или в контрольном листе.

По каждой лабораторной работе все студенты должны составить письменные отчеты. Содержание отчетов приведено в конце каждой лабораторной работы. Оформленные отчеты студенты сдают преподавателю в день проведения следующего практического занятия. Работа считается выполненной и зачтенной только после защиты ее студентом у преподавателя.

ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ

Лабораторные работы по дисциплине «Теория литейных процессов» проводятся под руководством преподавателя в специально оборудованных помещениях ВлГУ или его учебно-производственных филиалов.

Необходимые для проведения лабораторных работ оборудование, приборы, оснастка, инструменты, материалы готовятся предварительно перед началом занятий. Ответственным за подготовку помещения, оборудования, приборов к занятиям является учебный мастер.

Студенты должны приходить на занятия подготовленными, предварительно ознакомившись с темой лабораторной работы и изучив учебно-методическую литературу, посвященную данному вопросу. Степень подготовленности студента к занятиям определяет преподаватель, который имеет право не допустить студента к занятиям в случае недостаточной подготовленности. Повторное проведение лабораторной работы студентом возможно только с разрешения преподавателя.

Для обеспечения участия каждого студента в лабораторной работе большие группы (более 15 человек) следует разделять на подгруппы, а их – на бригады численностью не более пяти человек. Преподаватель может давать студентам индивидуальные задания в рамках темы данной лабораторной работы.

При выполнении лабораторных работ студентам рекомендуется использовать компьютерную технику.

Отчет по лабораторным работам оформляется каждым студентом в тетради или на стандартных листах при помощи компьютера. В верхней части титульного листа должно быть приведено полное название университета, в середине указываются номер и название лабораторной работы. Ниже названия с правой стороны листа указываются фамилия студента и номер его учебной группы, еще ниже – фамилия преподавателя. В нижней части титульного листа приводятся название города (местонахождение университета) и год проведения ра-

боты. После титульного листа следуют индивидуальное задание, выдаваемое студенту преподавателем, затем оглавление, в котором должны быть указаны разделы отчета и номера страниц. Содержание отчета должно соответствовать оглавлению. В конце отчета следует приводить список литературы, а в тексте отчета необходимо делать ссылки на использованную литературу.

ПАМЯТКА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Все студенты перед началом занятий в обязательном порядке проходят инструктаж по технике безопасности.

2. Все операции с расплавленным металлом следует производить в спецодежде и светозащитных очках.

3. Во избежание выбросов расплава из плавильной печи и ковша все компоненты шихты и плавильно-разливочная оснастка должны быть просушены.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

1. Общие сведения

Жидкотекучесть – это способность расплава заполнять полости литейной формы.

Жидкотекучесть является свойством сплава и зависит от его физических, химических и физико-химических параметров. Жидкотекучесть не следует путать с формозаполняемостью, которая зависит не только от свойств сплава, но и от свойств литейной формы и условий заполнения этой формы расплавом.

Жидкотекучесть сильно зависит от характера кристаллизации сплава: чем выше темп кристаллизации сплава вблизи температуры ликвидуса ($i_{л}$) по сравнению с темпом кристаллизации вблизи температуры солидуса ($i_{с}$), тем хуже жидкотекучесть сплава.

Темп кристаллизации – это интенсивность нарастания твердой фазы внутри интервала кристаллизации, т.е. количество (масса) твердой фазы, образующееся при понижении температуры внутри интервала кристаллизации на один градус. Это означает, что чем величина i_n/i_c больше единицы, т.е. чем больше твердой фазы образуется в верхней части температурного интервала кристаллизации (вблизи ликвидуса), тем быстрее при прочих равных условиях останавливается поток расплава, т.е. тем хуже его жидкотекучесть.

Температура внутри интервала кристаллизации, при которой количество (масса) образовавшейся твердой фазы таково, что движущийся поток расплава останавливается и не может течь, называется температурой, или точкой нулевой жидкотекучести.

Каждый сплав имеет свою точку нулевой жидкотекучести. Чем больше величина i_n/i_c превышает единицу, тем ближе к ликвидусу у этого сплава будет находиться точка нулевой жидкотекучести, и наоборот.

На практике жидкотекучесть литейных сплавов определяют при помощи специальных технологических проб, которые можно разделить на три группы:

- 1) пробы постоянного сечения (спиральные, прутковые, лабиринтные, V-образные, винтовые пробы);
- 2) пробы переменного сечения (клиновые, шариковые пробы);
- 3) комбинированные пробы.

Наиболее часто в лабораторном эксперименте используется спиральная проба постоянного сечения с центральным подводом металла.

Эскиз этой пробы приведен на рис. 1.

Форму пробы изготавливают в парных опоках и устанавливают под заливку строго горизонтально. Конструкция литниковой системы и металлоприемника должна обеспечивать поступление металла в полость формы с вполне определенной и постоянной скоростью. Для достижения постоянства скорости стояк затыкают пробкой, а металлический расплав заливают в чашу до определенного уровня. После этого температуру залитого в чашу расплава замеряют при помощи термопары и вынимают пробку из стояка. Расплав, попадая в спиральную форму, заполняет ее не полностью, а лишь частично, на определенную длину спирали. Именно длина спирали пробы, полностью

заполненная сплавом (измеряется в миллиметрах), является мерой жидкотекучести сплава в данных условиях заливки (т.е. при данной температуре заливки расплава в форму).

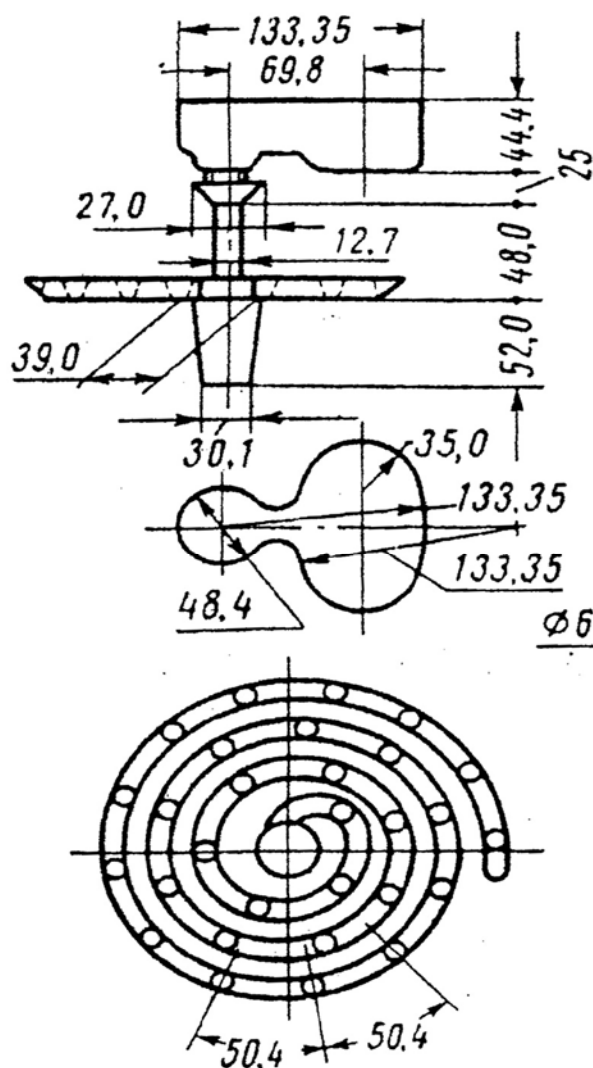


Рис. 1. *Спиральная проба постоянного сечения для определения жидкотекучести*

Для облегчения измерения длины спирали на ее модели, а значит в форме и на отливке спирали, имеются отметки, расположенные через 50 мм по всей длине спирали.

2. Оборудование, инструменты и материалы

1. Плавильная печь.
2. Опоки и модельная оснастка.
3. Формовочный инструмент и плавно-разливочная оснастка.

4. Термопара с самописцем.
5. Измерительный инструмент.
6. Формовочные материалы.
7. Шихтовые материалы.
8. Спецодежда.

3. Порядок выполнения работы

1. Приготовить формовочную смесь и изготовить литейную форму спиральной пробы.
2. Навесить шихту, выплавить сплав заданного состава и перегреть его на 30 – 50 °С выше температуры ликвидуса.
3. Заткнуть отверстие стояка пробкой, залить расплав в приемную чашу литейной формы, измерить температуру расплава термопарой.
4. Вытащить пробку из стояка и залить расплав в литейную форму.
5. Охладить отливку, извлечь ее из формы, измерить длину спирали.
6. Повторить эксперимент на сплаве другого химического состава. (Интервалы кристаллизации сплавов должны быть одинаковыми, а значение $i_{л}/i_{с}$ резко различаться. Желательно, чтобы один сплав имел $i_{л}/i_{с} > 1$, а другой – $i_{л}/i_{с} < 1$. Температура перегрева сплава над ликвидусом должна быть строго одинаковой для всех сплавов).
7. Обобщить результаты экспериментов, составить таблицы, установить зависимость жидкотекучести сплава от его положения на диаграмме состояния.
8. Оформить отчет.

4. Содержание отчета

1. Описание методики определения жидкотекучести.
2. Эскиз литейной формы в сборе.
3. Краткое описание методики выбора сплава для эксперимента и технологии выплавки сплавов.
4. Анализ результатов эксперимента, таблицы, диаграммы, графики.
5. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Что влияет на жидкотекучесть сплавов?
2. Какие виды литейного брака вызывает низкая жидкотекучесть металлического расплава?
3. Как изменится жидкотекучесть при увеличении температуры нагрева расплава?
4. Как могут повлиять на жидкотекучесть сплава легирующие добавки?
5. Методы оценки жидкотекучести сплавов в производственных условиях.

Лабораторная работа № 2

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ НА МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРУ ОТЛИВКИ

1. Общие сведения

Скорость охлаждения оказывает большое влияние как на макроструктуру отливок, так и на микроструктуру сплавов, из которых эти отливки изготовлены. Понятие макроструктуры относится к отливке, т.к. в формировании ее принимают участие все процессы, имеющие место при затвердевании отливок. К ним относятся тепловые условия затвердевания отливки, физико-химические процессы взаимодействия расплава с атмосферой и материалом литейной формы, процессы перемещения расплава в литейной форме в ходе затвердевания отливки и др. Говоря о макроструктуре, имеют в виду, прежде всего, размер зерна отливки.

Микроструктура – это характеристика сплава. В литейном производстве под микроструктурой понимают, прежде всего, дендритную структуру сплава и ее характеристики (средний размер дендритной ячейки и дендритный параметр, т.е. среднее расстояние между дендритными осями второго порядка, характеризующее степень разветвленности дендритов).

Обычно увеличение скорости охлаждения приводит к уменьшению среднего размера зерна в отливке. Однако в некоторых случаях

измельчение зерна не происходит даже при довольно значительном увеличении скорости охлаждения. Это случается тогда, когда кристаллизирующийся сплав не содержит в своем составе большого количества активных центров кристаллизации. В этом случае увеличение скорости охлаждения приводит лишь к увеличению линейной скорости роста уже имеющихся в расплаве растущих кристаллов, а новых кристаллов не образуется. Бывают также случаи, когда увеличение скорости охлаждения приводит к сильному увеличению размера зерна в отливке. Так бывает, например, при затвердевании отливок из сплавов с перитектическим превращением, когда под воздействием высоких скоростей охлаждения перитектическое превращение подавляется и сплав переходит на новые пути кристаллизации.

Дендритная структура сплава однозначно реагирует на увеличение скорости охлаждения. Чем выше она в интервале кристаллизации, тем мельче дендритная структура т.е. тем меньше средний размер дендритных ячеек и расстояние между дендритными осями второго порядка. При этом размер зерна может и не уменьшаться, а наоборот, увеличиваться.

Для сплавов твердых растворов зависимость дендритного параметра или среднего размера дендритных ячеек (d_{cp}) от скорости охлаждения сплава в интервале кристаллизации ($V_{охл}$) может быть описана следующим эмпирическим уравнением:

$$d_{cp} = \frac{A}{V_{охл}^{0,5}},$$

где A – эмпирический коэффициент.

Более точно зависимость $d_{cp} = f(V_{охл})$ для каждого конкретного сплава определяется экспериментально. Для этого на образцах одного и того же сплава, закристаллизованных с различными скоростями охлаждения, выявляют дендритную структуру, определяют под микроскопом величину d_{cp} и производят построение графической зависимости $d_{cp} = f(V_{охл})$ для данного сплава. Имея эту зависимость, можно по микроструктуре сплава определить скорость его охлаждения в любой части отливки.

Используя методы регрессионно-корреляционного анализа, полученную графическую зависимость можно описать математической

формулой и в дальнейшем использовать ее для для расчета $V_{охл}$ по экспериментально найденным значениям $d_{ср}$.

2. Оборудование, инструменты и материалы

1. Печь для плавки металла.
2. Формовочно-заливочная оснастка и инструмент.
3. Термопары и контрольно-измерительные записывающие приборы.
4. Формовочная смесь.
5. Металлографический микроскоп.
6. Шихта для выплавки сплава.
7. Набор слесарного инструмента и материалы для изготовления металлографических шлифов.
8. Химические реактивы для выявления дендритной структуры.

3. Порядок выполнения работы

1. Согласно эскизу (рис. 2) изготовить литейную форму.

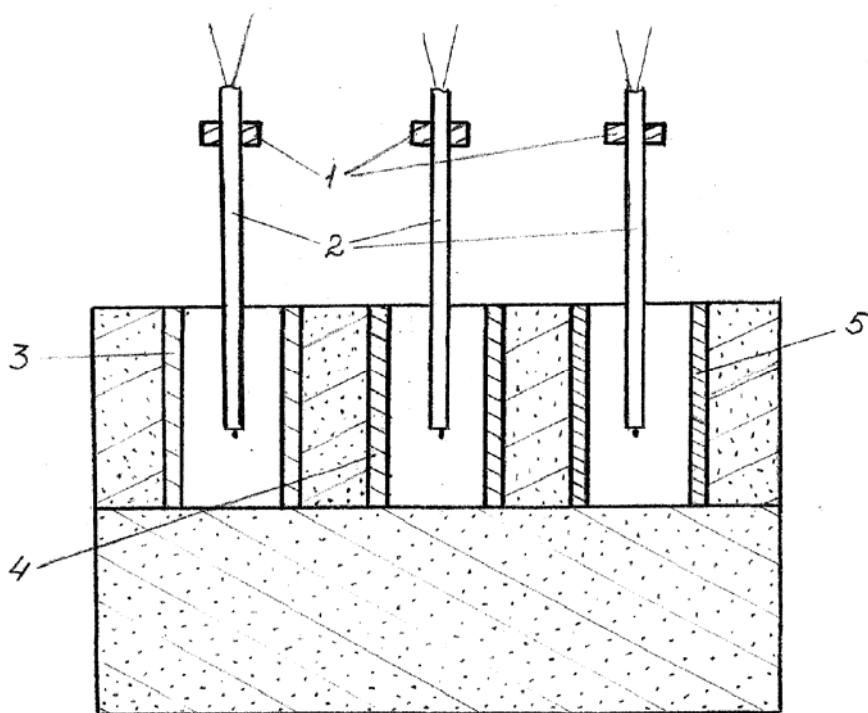


Рис. 2. Форма для определения скорости охлаждения металлов и сплавов: 1 – держатели; 2 – термопары; 3 – шамотовый стакан; 4 – стальной (или чугунный) стакан; 5 – медный стакан

2. Установить термопары и подключить их к контрольно-измерительному пишущему устройству (самописцу).

3. Выплавить сплав заданного состава (состав сплава указывает преподаватель), перегреть расплав на 50 °С выше температуры ликвидуса и залить его в литейную форму.

4. Записать кривые охлаждения сплава, кристаллизующегося в ячейках 3 – 5 (см. рис. 2).

5. По кривым охлаждения для каждого случая определить температуры начала и окончания кристаллизации сплава, температурный интервал кристаллизации (Δ) и среднюю скорость охлаждения сплава в интервале кристаллизации ($V_{охл}$).

6. После охлаждения до комнатной температуры выбить литые образцы из формы, отделить их от литниковой системы.

7. Разрезать образцы ножовкой так, чтобы плоскость реза проходила через место расположения горячего спая термопары в литом образце.

8. Из каждого образца изготовить металлографический шлиф. При помощи химических реактивов (травителей) выявить на каждом шлифе границы зерен и дендритную структуру сплава.

9. Под микроскопом с помощью методов стереометрической металлографии (например линейным методом Разиваля) определить средний размер зерна ($D_{ср}$): средний размер дендритных ячеек ($d_{ср}$) в районе горячего спая термопары. Результаты измерений усреднить по данным анализа микроструктуры (не менее 50 полей зрения).

10. Построить экспериментальные графические зависимости:

$$D_{ср} = f(V_{охл}), d_{ср} = f(V_{охл}), \Delta = f(V_{охл}).$$

11. Экспериментально (под микроскопом) определяя значение $d_{ср}$ в различных частях литых образцов и используя экспериментальный график $d_{ср} = f(V_{охл})$, найти значения $V_{охл}$ для различных частей этих образцов.

12. Записать все данные в таблицу, составить отчет.

4. Содержание отчета

1. Эскиз литейной формы с термопарами.
2. Описание методики эксперимента.
3. Таблицы результатов эксперимента, графики.
4. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Как влияет скорость охлаждения на температуру начала и окончания кристаллизации сплавов?
2. Как изменяется температурный интервал кристаллизации сплавов при увеличении скорости охлаждения?
3. Влияет ли скорость охлаждения металлов и сплавов на количество активных центров кристаллизации?
4. Что такое дендритные ветви второго и третьего порядков?
5. Как влияет размер зерна на механические свойства литой заготовки?

Лабораторная работа № 3

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СПЛАВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ В ЛИТЕЙНУЮ ФОРМУ НА ВЕЛИЧИНУ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ПОЛОСТЕЙ В ОТЛИВКЕ

1. Общие сведения

При переходе расплавленных металлов и сплавов из жидкого состояния в твердое объем их изменяется. В большинстве случаев происходит уменьшение объема. Однако у некоторых металлов (таких, как висмут, сурьма, галлий, а также сплавов на их основе) объем отливок после затвердевания, наоборот, становится больше. С увеличением объема кристаллизуется также серый чугун и такие элементы, как кремний и германий, которые не являются металлами, но часто присутствуют в составе литейных сплавов. Чем больше нагрет расплав, тем в большей степени происходит уменьшение объема после затвердевания. Уменьшение объема металлов и сплавов происходит и после их полного затвердевания (по мере охлаждения). Чем ниже температура затвердевшей отливки, тем меньше становится её объем. Зависимость объема металлов и сплавов от температуры имеет вид:

$$V_i = V_o [1 - \alpha_v (t_o - t_i)],$$

где V_i – объем металла при температуре t_i ; V_o – объем металла при температуре t_o ; α_v – коэффициент термического сжатия, характери-

зующий изменение единицы объема металла (или сплава) при охлаждении его на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в интервале температур от t_i и до t_o .

Уменьшение объема отливки при затвердевании и дальнейшем охлаждении приводит также к уменьшению ее линейных размеров.

В литейном производстве этот процесс общего уменьшения объема при затвердевании и дальнейшем охлаждении отливки называется усадкой.

Уменьшение объема металла (сплава) при переходе из жидкого состояния в твердое является причиной возникновения в отливке характерных дефектов – усадочных полостей (усадочной раковины и усадочной пористости).

Объем усадочных полостей в отливке сильно зависит от того, до какой температуры нагрет расплав перед заливкой в литейную форму. Чем выше температура расплава, тем больше объем усадочных полостей.

Характер распределения усадочных полостей в отливке, т.е. соотношение между объемами, занимаемыми раковинной и пористой, зависит от химического состава сплава. Чистые металлы и сплавы без интервала кристаллизации образуют в отливке концентрированную усадочную раковину. Сплавы с интервалом кристаллизации склонны к образованию в отливке усадочной пористости. Чем шире температурный интервал кристаллизации сплава, тем больше вероятность образования в отливке рассеянной усадочной пористости.

Для определения склонности сплавов к образованию усадочных полостей на практике применяют технологические пробы. За рубежом наиболее распространенными являются проба американского бюро стандартов и проба Шварца. Эскизы этих проб приведены на рис. 3.

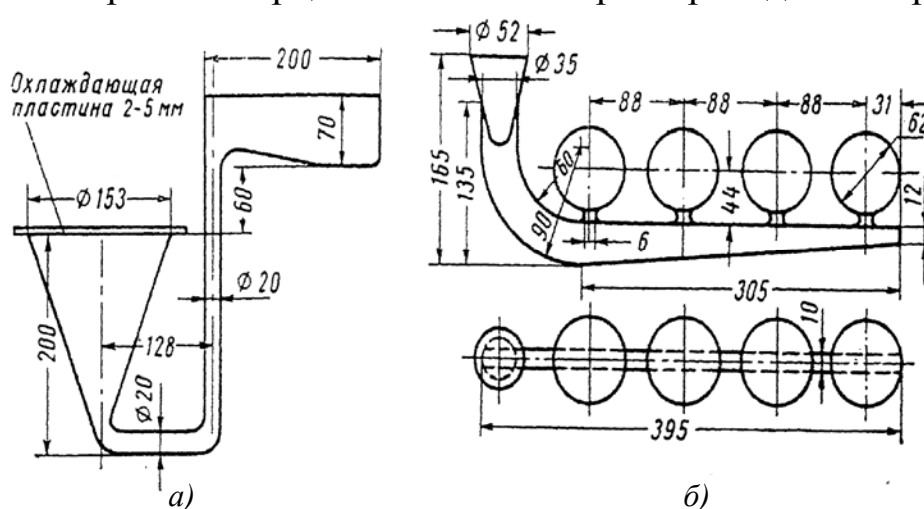


Рис. 3. Технологические пробы для определения склонности сплавов к образованию усадочных раковин и пор: а – проба американского бюро стандартов; б – проба Шварца

Склонность сплавов к образованию усадочной раковины или усадочной пористости оценивают сравнением заведомо плотного участка пробы с участком, где преднамеренно создаются условия для образования усадочных полостей.

Объем усадочных полостей определяют прямым или косвенным методами. При прямом методе усадочные полости заполняют керосином. Объем керосина, необходимый для полного заполнения усадочных полостей, соответствует объему этих полостей.

При косвенном методе измеряют размеры, плотность и вес образца из заведомо плотного участка пробы. Плотность образца определяют методом гидростатического взвешивания. Объем усадочных полостей вычисляют по формуле

$$V_{y.n} = V - \frac{m}{\rho},$$

где $V_{y.n}$ – объем усадочных полостей, см^3 ; V – объем основной утолщенной части пробы, см^3 ; m – вес (масса) основной части пробы, г; ρ – плотность сплава из заведомо плотной части пробы, $\text{г}/\text{см}^3$.

В России для определения склонности сплавов к образованию усадочных полостей в отливке обычно используют усовершенствованную конусную пробу. Чертеж этой пробы приведен на рис. 4. В этой пробе нижняя конусная часть 1 оформляется медным или чугуном холодильником 2. В верхнюю расширенную часть пробы также устанавливают холодильник 5 в виде диска. Это создает дополнительные условия для образования концентрированной усадочной раковины при затвердевании отливки. В большинстве случаев удается вывести усадочную раковину наружу.

Объем концентрированной усадочной раковины V_p у данной пробы измеряют прямым методом, заливая в раковину керосин из мерной бюретки.

Общий объем усадочных полостей $V_{y.n}$ определяют косвенным методом (при помощи заведомо плотного образца и гидростатического взвешивания).

Объем рассредоточенной пористости $V_{пор}$ определяют, вычитая из общего объема усадочных полостей $V_{y.n}$ объем концентрированной

усадочной раковины V_p . Таким образом, формула для определения $V_{пор}$ имеет вид: $V_{пор} = V_{y.n} - V_p$.

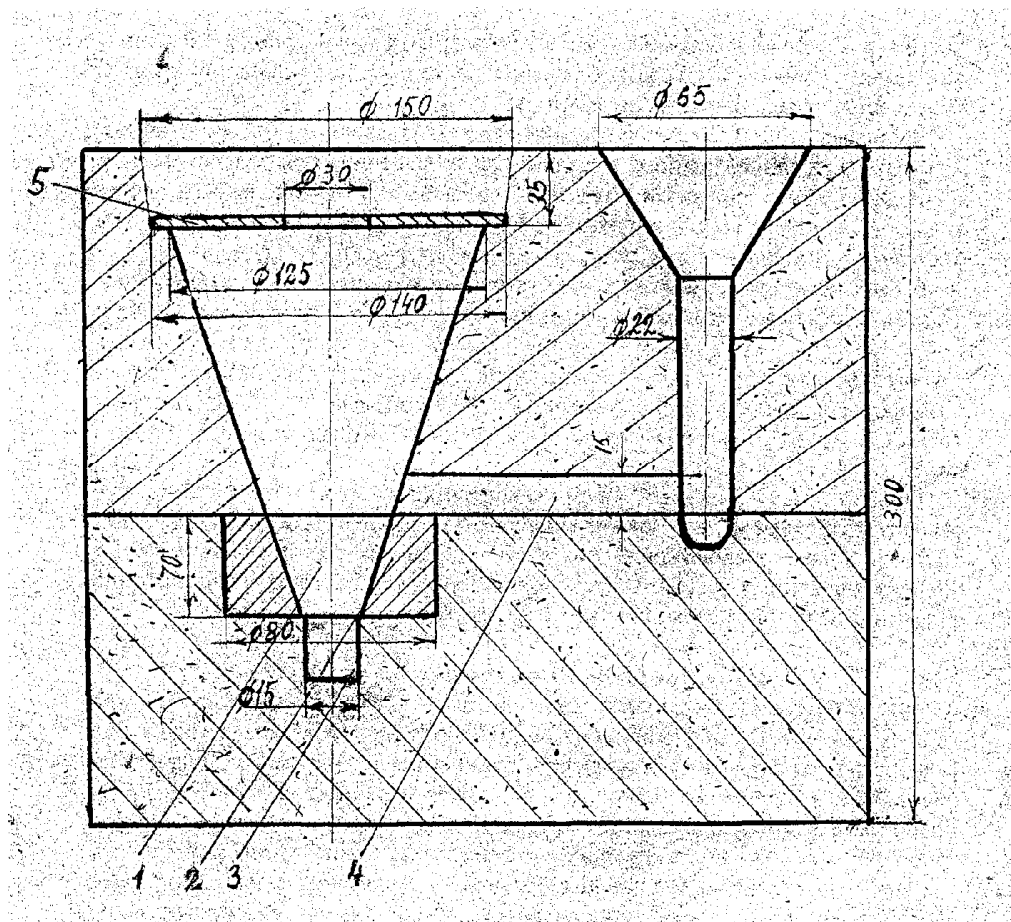


Рис. 4. Усовершенствованная конусная проба:

- 1 – нижняя часть полости конусной пробы;
 2 – нижний холодильник; 3 – цилиндрический прилив;
 4 – литник; 5 – верхний холодильник

Меняя состав формовочной смеси и материал холодильников, можно в широких пределах изменять условия направленного затвердевания этой конусной пробы и изучать влияние этого фактора на характер распределения усадочных полостей в теле отливки.

2. Оборудование, инструменты и материалы

1. Плавильная печь.
2. Опоки.
3. Модельная оснастка.
4. Аналитические и технические весы.
5. Термопары с прибором для измерения температуры заливки.

6. Измерительный инструмент.
7. Формовочный инструмент.
8. Плавно-заливочный инструмент и оснастка.
9. Формовка и стержневая смесь.
10. Шихтовые материалы.
11. Мерная емкость.
12. Дистиллированная вода.
13. Керосин.
14. Ацетон.
15. Спецодежда.

3. Порядок проведения работы

1. Изготовить форму конусной технологической пробы (см. рис. 4).
2. Рассчитать шихту и приготовить сплав заданного состава.
3. Залить форму сплавом с заданной температурой нагрева расплава над ликвидусом.
4. Охладить отливки, выбить их из формы и очистить от формовочной смеси.
5. Отделить от отливки литниковую систему.
6. Отделить от нижней части конусной пробы цилиндрический образец, измерить его геометрические размеры и рассчитать объем.
7. Определить плотность сплава цилиндрического образца методом гидростатического взвешивания. Для этого поверхность образца зачищают, обезжиривают ацетоном, взвешивают на воздухе и в дистиллированной воде с точностью до четвертого знака. Известно, что в случае применения дистиллированной воды, плотность которой равна 1 г/см^3 , объем погруженного в нее тела V_m будет численно равен массе вытесненной жидкости (дистиллированной воды), т.е. $V_m = m_m - m_{жс}$.

$$\text{Поэтому } \rho_m = \frac{m_B}{m_B - m_{жс}} = \frac{m_B}{V_m},$$

где m_B – масса образца при взвешивании на воздухе; $m_{жс}$ – масса образца при взвешивании в дистиллированной воде, г/см^3 ;

V_m – объем дистиллированной воды, вытесненный образцом, см^3 .

8. Измерить габаритные размеры отливки конусной пробы, вычислить ее объем и взвесить.

9. Рассчитать общий объем пустот в конусной пробе. Объем сплава в конусной пробе (V_c) равен отношению веса пробы (ее массы) к плотности сплава (ρ_m). Объем отливки пробы V_{np} всегда больше, чем V_c . Разность между этими объемами и составляет величину объема усадочных полостей $V_{y.n}$:

$$V_{n.p} - V_c = V_{y.n}.$$

10. Измерить объем открытой усадочной раковины V_p , заполнив ее керосином из мерной бюретки (если усадочная раковина получилась закрытой, то вскрыть ее сверлом или керном).

11. Рассчитать объем, занимаемый усадочными порами (V_{nop}):

$$V_{nop} = V_{y.n} - V_p.$$

12. Разрезать пробу от вершины до основания и изучить распределение усадочных полостей по ее сечению.

13. Обобщить результаты определения величины и распределения усадочных полостей в отливках (конусных пробах) из сплава одного и того же состава, но имеющего различную температуру расплава перед заливкой в форму, а также в отливках (конусных пробах), изготовленных из сплавов различного состава, но залитых при одинаковом значении перегрева расплава над ликвидусом.

14. Составить отчет.

4. Содержание отчета

1. Описание методик определения величины и характера распределения усадочных полостей в отливке.
2. Эскиз усовершенствованной конусной технологической пробы.
3. Технология приготовления сплава и режимы заливки расплава в форму.
4. Таблица результатов измерений и расчетов.
5. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл усадки металлов и сплавов при затвердевании?
2. Какой тип усадочных полостей образуется при затвердевании отливок из чистых металлов?

3. К образованию какого типа усадочных полостей в отливках склонны сплавы с широким интервалом кристаллизации?
4. Как влияет температура перегрева расплава над ликвидусом на общий объем усадочных полостей в отливке?
5. Как влияют тепловые условия затвердевания на характер распределения усадочных полостей в отливке?
6. Какие виды проб применяют для измерения усадки в отливках?
7. Как определяют объем усадочных раковин и пор в отливке?
8. Как определить плотность сплава методом гидростатического взвешивания?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ ОТЛИВОК

1. Общие сведения

Линейной усадкой называется беспрепятственное (без торможения со стороны формы) изменение линейных размеров отливки в процессе ее затвердевания при дальнейшем охлаждении до комнатной температуры. Именно из-за того, что изменение линейных размеров отливки происходит беспрепятственно, линейную усадку еще называют свободной усадкой.

Для отливок из чистых металлов линейная усадка начинается с момента достижения металлом температуры кристаллизации. Для отливок из сплавов с интервалом кристаллизации линейная усадка начинается еще до окончания кристаллизации сплава, тогда, когда количество твердой фазы в сплаве достигнет ~ 75 % об., и заканчивается при температуре выбивки отливки из литейной формы.

Как правило, линейная усадка подразумевает уменьшение геометрических размеров отливки, но у отливок из висмута, сурьмы, галлия, кремния и германия, а также из сплавов на их основе после затвердевания наблюдается не уменьшение, а, наоборот, увеличение геометрических размеров. Эти явления связаны исключительно со

свойствами этих металлов и сплавов и никак не зависят от условий затвердевания и от формы отливки.

Формула для определения линейной усадки имеет вид:

$$E_{л} = ((L_{н.ф.} - L_{отл.}) / L_{отл.}) \cdot 100 \%,$$

где $E_{л}$ – линейная усадка; $L_{н.ф.}$ – линейный размер полости литейной формы, заполненной жидким металлом; $L_{отл.}$ – линейный размер отливки при комнатной температуре.

Экспериментально линейную усадку определяют при помощи специальных приборов. На практике широко используют прибор И.Ф. Большакова или прибор А.А. Бочвара (рис. 5).

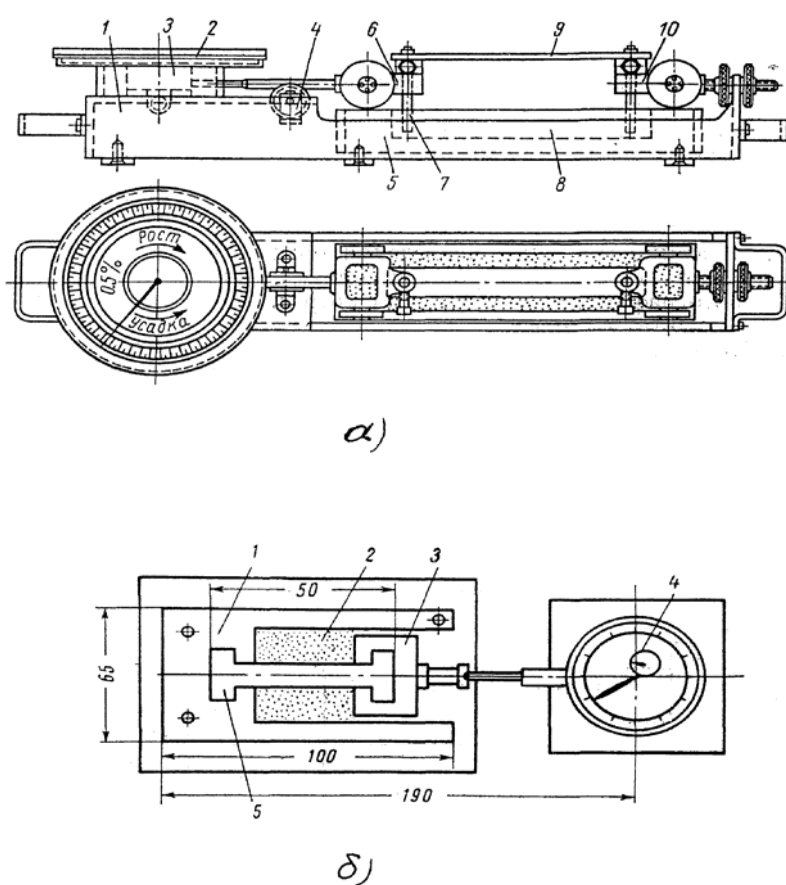


Рис. 5. Приборы для определения линейной усадки: а – прибор конструкции И.Ф. Большакова; б – прибор конструкции А.А. Бочвара

На рис. 5, а приведена схема прибора для определения линейной усадки по методу И.Ф. Большакова. На металлическом каркасе прибора 1 смонтирован диск циферблата 2 с индикаторной головкой 3. Каж-

дое деление шкалы прибора соответствует изменению литейного размера литого образца длиной 200 мм на 0,001 %. В каркас прибора устанавливают опоку 5 с формой 8 образца размером 30 × 25 × 250 мм. Над опокой помещают две подвижные каретки. Одна из этих кареток 6 соединяется штоком с иглой индикатора, другая каретка 10 жестко крепится к торцевой стенке каркаса. В каждой из кареток перпендикулярно оси измеряемого (литого) образца закрепляют шпильки 7. Нижние концы шпилек входят в полость формы будущей отливки на глубину 18 – 20 мм, а верхние выступают на 3 – 10 мм над каретками.

Расстояние между центрами шпилек должно составлять ровно 200 мм. Это расстояние устанавливают при помощи контрольной планки 9 с точностью до 0,1 мм.

Перед началом эксперимента по замеру линейной усадки прибор приводят в исходное положение. Для этого штоком передней каретки, который поддерживается роликом 4, нажимают на иглу индикатора таким образом, чтобы стрелка индикатора, сделав пять оборотов по окружности циферблата вправо, остановилась точно напротив деления шкалы, соответствующего нулю. В таком положении задняя каретка 10 крепится к торцевой стенке каркаса, а передняя каретка после снятия контрольной планки остается в свободном состоянии. После этого в полость формы заливают металлический расплав и следят за перемещением индикатора. Одновременно при помощи термомпары и фиксирующего прибора измеряют температуру металла в центре охлаждающегося образца.

Схема прибора для определения линейной усадки по методу А.А. Бочвара приведена на рис. 5, б. Сам прибор представляет собой комбинированную литейную форму, полость которой имеет вид двутавра. Средняя часть двутавра изготавливается из формовочной смеси, концевые палочки двутавра – из металла. Одна из концевых частей палочек двутавра находится в неподвижной части формы 1, другая – в подвижной ее части 3, которая упирается в ножку индикатора 4, фиксирующего ее перемещения вследствие усадки образца 5. Линейную усадку по методу А.А. Бочвара определяют, устанавливая между подвижной и неподвижной частями формы специальный вкладыш, который фиксирует расстояние между ними. Расстояние это обычно устанавливают равным 50 мм. Формовочную смесь 2 между вкладышем и неподвижной частью формы уплотняют

ют и устанавливают индикатор. После этого вкладыш извлекают из формы, стрелку индикатора устанавливают на 0 и заливают форму металлом. После образования твердой корки смесь вокруг отливки разрыхляют. Это делается для уменьшения сопротивления усадке. При охлаждении линейные размеры литого образца сокращаются. При этом подвижная часть формы перемещается, что фиксируется индикатором.

Относительную величину линейной усадки определяют по формуле:

$$E_l = (\Delta/l) \cdot 100 \%,$$

где Δ – показание индикатора при комнатной температуре; l – расстояние между внутренними сторонами полочек отливки двутавра при комнатной температуре.

Вышеописанные методы позволяют определять линейную (свободную) усадку отливок.

Реальная величина усадки отливок всегда меньше величины свободной усадки. Это связано с тем, что сложная нелинейная форма отливки, имеющиеся на ней выступы, шероховатость поверхности литейной формы и стержней всегда оказывают сопротивление свободной усадке. Эту реальную величину усадки отливок после их охлаждения до комнатной температуры принято называть литейной, т.е. затрудненной усадкой.

Для определения литейной, т.е. затрудненной, усадки отливки через специальные отверстия в моделях отливки перед их извлечением на стенках формы при помощи металлического инструмента делают конусные углубления.

Расстояние между центрами этих углублений должно быть строго определенным, например 200 мм. После заливки расплава в форму и его затвердевания там эти углубления в форме образуют на отливке выступы. В процессе охлаждения отливки эти выступы будут препятствовать свободной усадке отливки, и величина усадки будет меньше ожидаемой величины. Величину литейной (затрудненной) усадки отливки определяют по формуле:

$$E_l = ((200 - L_{отл.}) / L_{отл.}) \cdot 100 \%,$$

где $L_{отл.}$ – расстояние между центрами выступов на отливке, мм.

2. Оборудование, инструменты и материалы

1. Печь для плавки металла.
2. Прибор конструкции И.Ф. Большакова или прибор для определения литейной усадки по методу А.А. Бочвара.
3. Модели для определения свободной или затрудненной усадки, опоки, формовочный инструмент.
4. Формовочная смесь.
5. Термопары, потенциометр.
6. Плавило-заливочный инструмент.
7. Линейка, штангенциркуль, индикатор со стерженьками.
8. Спецодежда.

3. Порядок выполнения работы

1. Приготовить на лабораторных бегунах формовочную смесь.
2. Заформовать пробы на свободную и затрудненную усадки.
3. Рассчитать шихту, приготовить навеску и выплавить сплав заданного состава в соответствии с указаниями преподавателя (полученный расплав следует нагреть на 100 – 150 °С выше температуры ликвидуса выплавляемого сплава).
4. Залить формы расплавом и охладить до комнатной температуры, производя через каждые 60 секунд фиксацию температуры и показаний индикаторов.
5. Произвести выбивку отливок и необходимые замеры линейных размеров моделей, отливок, расстояния между центрами выступов; подсчитать линейную и литейную усадки.
6. Построить графики изменения величины усадки в зависимости от температуры для свободной и затрудненной усадок.
7. Составить отчет.

4. Содержание отчета

1. Описание методов определения линейной и литейной усадок.
2. Эскизы приборов и литейных форм.
3. Расчет шихты, технология выплавки сплава и заливки его в форму.

4. Таблица исходных данных и результатов эксперимента, графики зависимости $E_{\gamma} - t^0$ для случаев свободной и затрудненной усадок.
5. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Какое физическое явление называют усадкой?
2. Образование каких дефектов в отливке вызывает усадка?
3. Что такое линейная усадка, как ее определяют?
4. В чем отличие линейной усадки от литейной?
5. Какой вид усадки обычно встречается в реальных отливках?
6. Как влияет температура нагрева расплава на величину линейной усадки?
7. Как зависит линейная усадка от состава сплава?
8. Существуют ли безусадочные сплавы?

Лабораторная работа № 5

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОТЛИВКАХ

1. Общие сведения

Неравномерная и неоднородная усадка различных частей затвердевающей и охлаждающейся отливки приводит к возникновению в ней внутренних напряжений.

Внутренние напряжения подразделяются на термические, фазовые и механические. Термические внутренние напряжения возникают из-за разницы в скорости затвердевания и дальнейшего охлаждения разных частей фасонной отливки.

Фазовые внутренние напряжения возникают в результате неоднородного протекания фазовых превращений в сплаве в различных частях охлаждающейся отливки. В отливках из сплавов, не претерпевающих фазовых превращений, фазовые внутренние напряжения отсутствуют.

Механические внутренние напряжения возникают вследствие механического торможения усадки выступающими частями отливки, материалом формы, стержнями и т.п.

Сумма всех этих напряжений называется литейными напряжениями.

Внутренние напряжения бывают временными и остаточными. Временные напряжения существуют в отливке, пока существует порождающая их причина. С исчезновением этой причины временные напряжения тоже исчезают. Остаточные напряжения не зависят от внешних факторов и уравниваются в объеме самой отливки. Эти напряжения остаются в отливке после ее изготовления и выбивки из литейной формы.

Для определения величины остаточных напряжений используют технологические пробы. Наиболее часто используемой пробой является прямоугольная усадочная решетка. Основные элементы этой пробы – толстые и тонкие брусья, соединенные перемычками. Форма и размеры используемой усадочной решетки приведены на рис. 6.

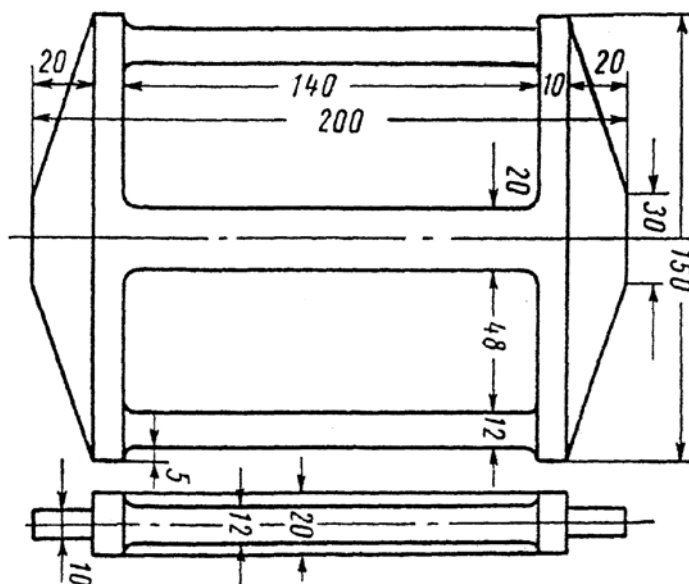


Рис.6. Усадочная решетка для определения величины внутренних напряжений

Проведем расчет растягивающих напряжений в толстом брусе и сжимающих напряжений в тонких брусьях, пренебрегая учетом напряжений в перемычках (и изгибающим моментом в перекладинах из-за их малости).

После затвердевания в литейной форме в объеме решетки устанавливается равновесие термических и механических напряжений:

$$2\sigma_1 f_1 = \sigma_2 f_2,$$

где σ_1 – напряжение в тонком бруске, кг/мм²; σ_2 – напряжение в толстом бруске, кг/мм²; f_1 – сечение тонкого бруска, мм²; f_2 – сечение толстого бруска, мм².

Из этого уравнения следует:

$$\sigma_1 = \sigma_2 f_2 / 2f_1.$$

Напряжения σ_1 и σ_2 вызывают упругие деформации сжатия в тонких брусках и растяжения в толстом бруске. Формулы для вычисления этих деформаций имеют следующий вид:

$$\Delta_1 = \sigma_1 l / E$$

$$\Delta_2 = \sigma_2 l / E,$$

где l – длина тонких и толстого брусков решетки, мм; E – модуль упругости.

Если разрезать толстый брусок, то напряжения растяжения снимутся, брусок перейдет в ненапряженное состояние, деформация исчезнет, и размеры бруска изменятся на величину Δ , которая определяется уравнением:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \sigma_1 l / E + \sigma_2 l / E.$$

Выразив σ_1 через σ_2 , получим

$$\Delta = \frac{\sigma_2 f_2}{2f_1 E + \sigma_2 l / E}.$$

Из этого уравнения находим величину исчезнувшего при разрезании остаточного напряжения в толстом бруске

$$\sigma_2 = \Delta \frac{E}{l(2f_1 / f_2 + 1)}.$$

В этой формуле значения f_1, f_2, l и Δ измеряют на отливке, значение E берут из справочника.

2. Оборудование, инструменты и материалы

1. Печь для плавки металла.
2. Опоки.
3. Модель усадочной решетки.
4. Набор формовочного и разливочного инструмента.
5. Формовочная смесь.
6. Набор слесарного инструмента (напильник, керн, молоток, ручная ножовка).
7. Штангенциркуль.
8. Спецодежда.

3. Порядок выполнения работы

1. В парных опоках изготовить форму усадочной решетки. Подвод металла осуществляется в торцевую часть толстого центрального бруса.
2. Выплавить сплав и залить его в форму при заданной температуре.
3. Охладить отливку в форме до комнатной температуры, выбить отливку из формы и очистить отливку от пригоревшей формовочной смеси.
4. Зачистить два участка поверхности толстого бруса на наждачном станке или напильником.
5. На зачищенных участках толстого бруса при помощи керна нанести метки на расстоянии 8 – 10 мм и измерить расстояние между метками с точностью до $\pm 0,01$ мм.
6. Определить сечения брусьев.
7. Разрезать толстый брус ножовкой между отметками и повторно измерить расстояние между ними.
8. Занести данные эксперимента в таблицу, произвести необходимые расчеты и составить отчет по работе.

4. Содержание отчета

1. Описание и эскиз технологической пробы.
2. Методика расчета напряжений.
3. Таблица результатов экспериментальных измерений и расчетов.
4. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Виды напряжений, возникающие в отливках после их затвердевания.
2. В чем разница между временными и остаточными напряжениями?
3. С чем связано возникновение напряжений в отливках?
4. Может ли конструкция отливки влиять на величину напряжений?
5. Как можно снизить напряжения в отливке?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пикунов, М.В.* Плавка металлов, кристаллизация сплавов, за-
твердевание отливок / М. В. Пикунов. – М. : МИСиС, 2005. – 416 с. –
ISBN 5-87623-141-X.
2. Лабораторные работы по технологии литейного производства /
А.В. Курдюмов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 270 с.
3. *Гуляев, Б.Б.* Теория литейных процессов / Б.Б. Гуляев. – Л. :
Машиностроение, 1980. – 217 с.
4. Константинов, Л.С. Напряжения, деформации и трещины в
отливках / Л.С. Константинов, А.И. Трухов. – М. : Машиностроение,
1981. – 197 с.
5. *Пикунов, М.В.* Кристаллизация сплавов и направленное за-
твердевание отливок / М.В. Пикунов, И.В. Беляев, Е.В. Сидоров. –
Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2002. – 212 с.
6. *Салтыков, С.А.* Стереометрическая металлография / С.А. Сал-
тыков. – М. : Metallurgia, 1970. – 375 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ.....	4
ПАМЯТКА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ.....	4
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа № 2. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ НА МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРУ ОТЛИВКИ.....	9
Лабораторная работа № 3. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СПЛАВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ В ЛИТЕЙНУЮ ФОРМУ НА ВЕЛИЧИНУ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ПОЛОСТЕЙ В ОТЛИВКЕ.....	13
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ ОТЛИВОК.....	19
Лабораторная работа № 5. ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОТЛИВКАХ.....	24
Список рекомендуемой литературы.....	29

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»
(для бакалавров)

Составитель
БЕЛЯЕВ Игорь Васильевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой, профессор В.А. Кечин

Подписано в печать 25.03.10.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 50 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.