

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

---

Кафедра художественной и пластической обработки материалов

**А.А. Тихонов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ  
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Великий Новгород 2015**

УДК 621.74

## **Исследование жидкотекучести металлов и сплавов**

Цель работы.

Изучить основные литейные свойства металлов и сплавов. Научиться определять жидкотекучесть. Изучить факторы, влияющие на жидкотекучесть металлов и сплавов.

### **Основные теоретические положения**

Литейным производством называется технологический процесс изготовления металлических заготовок (отливок) путем заливки жидкого металла в специально приготовленные формы. Форма заполняется металлом через систему каналов, называемую литниковой системой. При этом наружные очертания отливки определяются полостью формы, а внутренние образуются вставками, называемыми стержнями,

К основным литейным свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение и ликвацию.

Усадка — свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Усадка — отрицательное явление, потому что при ней изменяются объем и размеры изготавливаемых отливок, она является причиной образования в отливках усадочных раковин, пористости, внутренних напряжений, вызывающих появление коробления и трещин. Изменение объема отливки зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки и других факторов. Различают объемную и линейную усадки, выражаемые в процентах. В результате объемной усадки появляются

усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки. Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли — дополнительные резервы с расплавленным металлом и холодильники. Линейная усадка определяет размерную точность получаемых отливок, поэтому она учитывается при проектировании технологического процесса литья и изготовлении модельной оснастки. Каждый сплав имеет свою определенную линейную усадку, например: серый чугун 0,9—1,3%; алюминиевые сплавы 0,9—1,45%; стали 1,8—2,5%; магниевые сплавы 1,0—1,6%; медные сплавы 1,5—2,5%. Ликвация — неоднородность химического состава сплава в различных частях сечения отливки, возникающая при его кристаллизации. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. А также из-за различной плотности компонентов сплава. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и дендритную, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне. Наиболее заметна ликвация в массивных сечениях отливки. Ликвации негативно влияют на свойства отливки. Они могут снижать коррозионную стойкость, ухудшать обрабатываемость резанием и давлением. Ликвации уменьшаются при снижении температуры и скорости заливки, при увеличении скорости кристаллизации. Ликвации можно устранить диффузионным отжигом.

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 она увеличивается незначительно, несколько возрастает при плавлении и резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается и 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. Для уменьшения газонасыщенности сплавов применяют плавление в вакууме или в среде инертных газов и другие методы.

Жидкотекучесть — способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, при низкой — полость формы заполняется частично, в узких сечениях образуются недоливы. Жидкотекучесть зависит от большого количества факторов, которые можно объединить в три основные группы:

— факторы, связанные со свойствами сплава (вязкость, поверхностное натяжение, теплота и интервал кристаллизации, теплопроводность, теплоемкость и др.);

— факторы, связанные со свойствами заполняемой формы (шероховатость стенок формы, теплопроводность, газопроницаемость);

— факторы, зависящие от условий заполнения формы (металлостатический напор, избыточное внешнее давление на расплав, перегрев расплава, температура литейной формы, конструкция литниковой системы).

Основываясь на положениях гидравлики и учитывая фактор смыва и накопления твердой фазы в движущемся металле, можно представить механизм остановки следующим образом. При поступлении металла в канал литейной формы на стенках канала и образуется твердая корочка из-за высокой интенсивности охлаждения металла в начальные моменты. С течением времени, по мере прогревания формы, интенсивность теплоотвода уменьшается. Но перенос теплоты к корочке за счет поступления новых порций металла остается постоянным, и она начинает оплавляться. Уменьшению размеров корочки способствует также смывание части кристаллов движущимися потоками. Накопление обломков кристаллов на конце потока приводит к постоянному нарастанию сил внутреннего трения. Условия течения металла заметно ухудшаются. Наконец в определенный момент количество

накопившихся обломков становится несколько большим, а сопротивление внутреннему трению настолько значительным, что поток останавливается. Изменение жидкотекучести сплавов тесно связано с их диаграммами состояния. Академик А.А.Босвар показал, что сплавы сохраняют основные свойства жидкого тела, в том числе способность к макроперемещениям, не во всем интервале температур между ликвидусом и солидусом, а только в той части, где кристаллы не образуют связанного каркаса, а движутся вместе с жидкостью. Наибольшей жидкотекучестью обладают эвтектические сплавы, чистые металлы и интерметаллиды, кристаллизующиеся при постоянной температуре. По мере увеличения интервала кристаллизации жидкотекучесть уменьшается. Сплавы с широким интервалом кристаллизации затвердевают с образованием разветвленных дендритов, которые растут перпендикулярно поверхности формы, отводящей тепло, т. е. поперек течения металла, заполняющего полость формы. При этом живое сечение каналов быстро уменьшается и течение металла затрудняется. Поэтому такие сплавы заполняют форму хуже, чем чистые металлы и эвтектические сплавы, которые кристаллизуются при постоянной температуре с образованием малоразветвленных дендритов и кристаллов компактной формы. Влияют на жидкотекучесть оксидные пленки, образующиеся при контакте сплава с воздухом, которые значительно повышают усилия, необходимые для преодоления поверхностного натяжения сплава. Оксидные пленки, образующиеся на поверхности расплавов, нитриды и сульфиды уменьшают жидкотекучесть и ухудшают формозаполняемость. Наличие в металлах и сплавах примесей в одних случаях ухудшает жидкотекучесть, а в других может улучшить ее. Модифицирование значительно улучшает жидкотекучесть, но иногда приводит к ее уменьшению (например, у сплавов системы Al-Si). Присутствие в алюминии незначительного количества железа, кремния и титана заметно ухудшает его жидкотекучесть, однако наличие легкоплавкой эвтектики во всех сплавах приводит к увеличению жидкотекучести. Так, введение от 0,5 до 1,5% фосфора в чугун позволяет увеличить его жидкотекучесть настолько, что из такого

чугуна отливаются тонкостенные радиаторы водяного отопления, поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания и другое тонкостенное и ажурное литье. Бронза с содержанием фосфора около 1% используется для отливки художественных изделий: скульптур, барельефов, тонкостенных решеток, монументов и т.п. Тугоплавкие легирующие вольфрам, ванадий, титан, молибден ухудшают жидкотекучесть большинства сплавов. Такие примеси, как марганец и сера, сами по себе не влияют на жидкотекучесть, но при совместном присутствии в сплавах образуют соединения, снижающие жидкотекучесть. Профессор Ю.А. Нехендзи назвал температуру, при которой поток перестает течь, температурой нулевой жидкотекучести. С увеличением температурного интервала кристаллизации жидкотекучесть снижается. При этом большое значение имеют размеры и форма первичных кристаллов. Если первичные кристаллы растут в виде сильно разветвленных дендритов, граница нулевой жидкотекучести находится вблизи границы ликвидус. Примером могут служить доэвтектические сплавы с широким интервалом кристаллизации и дендритной формой первичных кристаллов. Если же первичный кристалл имеют компактные формы и небольшие размеры, граница нулевой жидкотекучести тяготеет к линии солидус. Несмотря на то, что выделяется значительная часть твердой фазы, металл продолжает течь, поскольку выделившиеся первичные кристаллы не связаны между собой. В качестве примера можно привести заэвтектические чугуны.

Заполняемость характеризует способность металлов и сплавов воспроизводить контур отливок в особо тонких сечениях, где в значительной степени проявляется действие капиллярных сил. Заполнение тонких сечений отливок - это процесс взаимодействия металла и формы. Иногда этот процесс называют формовоспроизведением или формозаполнением. Кроме заполнения формы важным является точность воспроизведения отливкой рельефа поверхности формы. Способность сплава воспроизводить рельеф поверхности формы называют формозаполняемостью. Обычно литейная форма не смачивается жидким металлом, поэтому капиллярные силы препятствуют

воспроизведению неглубокого рельефа на поверхности отливки. Чем больше поверхностное натяжение расплава и краевой угол смачивания поверхности литейной формы и чем меньше размеры выступов и впадин на поверхности формы, тем хуже воспроизводится рельеф формы на отливке. Для преодоления капиллярного противодействия необходим дополнительный металлостатический напор. Заполняемость обусловлена рядом факторов:

- поверхностным натяжением сплава и смачиваемостью формы;
- вязкостью сплава, связанной с его теплофизическими свойствами;
- температурным интервалом кристаллизации 4. формой и размерами первичных кристаллов;
- склонностью сплава к пленообразованию;
- теплофизическими свойствами формы;
- способом заливки металла (стационарный или центробежный);
- конструктивными особенностями литниковой системы;
- наличием газов в форме и условиями ее вентиляции.

Различают истинную, условно-истинную и практическую жидкотекучесть сплава.

Истинная жидкотекучесть сплавов определяется при одинаковом перегреве их выше температуры нулевой жидкотекучести, при которой сплав теряет подвижность. Нулевая жидкотекучесть наступает при температуре, лежащей между ликвидусом и солидусом сплава, при определенном количестве твердой фазы. В практических условиях трудно определить температуру нулевой жидкотекучести, поэтому определяют не истинную, а условно-истинную жидкотекучесть сплавов при одинаковом перегреве их выше температуры ликвидуса. Под практической понимают жидкотекучесть сплавов при постоянной температуре заливки. В этом случае перегрев выше температуры ликвидуса и нулевой жидкотекучести для различных сплавов не одинакова.

Жидкотекучесть определяют экспериментально по специальным технологическим пробам, которые можно разделить на три группы:

- пробы постоянного сечения ( спиральная, прутковая, U-образная и др.);
- пробы переменного сечения (клиновья, шариковая);
- комбинированные.

Мерой жидкотекучести в пробах постоянного сечения является длина полученного прутка для выбранных условий заливки и охлаждения сплава.

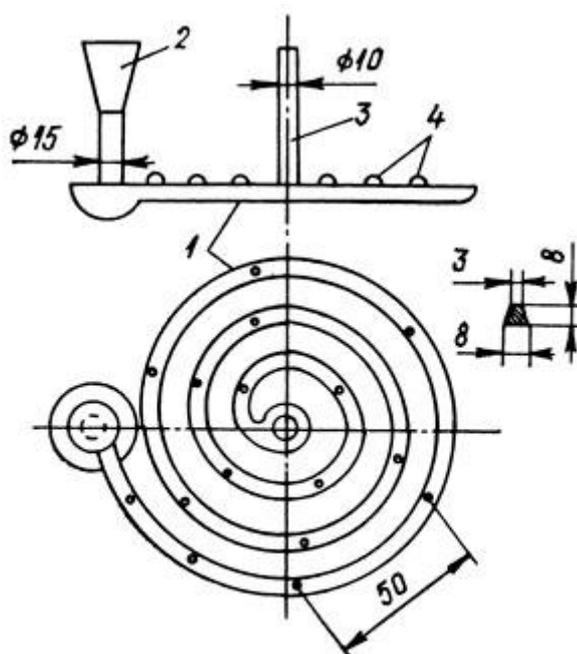


Рис. 1. Модель для формовки спиральной пробы

Спиральная проба состоит из чаши 2, стояка 3 и спирального канала 1 трапецидального сечения с небольшими выступами 4. О величине жидкотекучести судят по пути, пройденному металлом до затвердевания, т.е. длине прутка. Небольшие выступы 4, нанесены через 50мм, облегчают измерение спирали. U-образная проба имеет вертикальное расположение канала постоянного сечения. Высота подъема металла в канале пробы является количественной характеристикой жидкотекучести. Эта проба позволяет

одновременно оценить усадку сплава и склонность к образованию трещин. Прутковая проба имеет обычно цилиндрический канал диаметром 5мм, выполненный в песчано-глинистой форме. Металл поступает в канал из буферного резервуара, заполняемого из литниковой воронки. Заполнение воронки и вхождение металла в канал значительно зависят от условий заливки. Проба должна устанавливаться точно по уровню. Воспроизводимость определения жидкотекучести в этой пробе низкая (отклонения до 15%). Среди проб переменного сечения. Наибольшее распространение получили клиновья и шариковая пробы. В клинковой пробе полость формы переменного сечения в виде клина заполняется жидким металлом, который проникает в зависимости от жидкотекучести сплава на определенное расстояние. Показателем жидкотекучести является зазор, образующийся между вершиной конуса и вершиной затвердевшего металла: чем меньше это расстояние, тем жидкотекучесть больше.

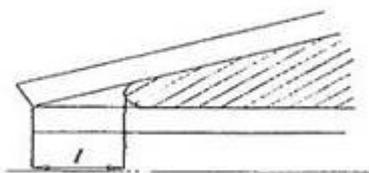


Рисунок 2 - Определение заполняемости (жидкотекучести) клинковой пробой

### Порядок выполнения работы

- 1) Собрать форму для определения жидкотекучести по длине отливаемой спирали.
- 2) Приготовить по указанию преподавателя пять сплавов системы олово-свинец различного состава. Определить жидкотекучесть каждого сплава при постоянной одинаковой температуре заливке.

3) Разогреть расплав исследуемого по указанию преподавателя сплава до температур 1,1 Тпл.; 1,2 Тпл.; 1,5Тпл.; 2Тпл. и определить жидкотекучесть для каждого варианта.

4) Составить отчёт.

### **Содержание отчёта**

1) Цель работы

2) Краткое описание теоретической части работы.

3) Методика определения жидкотекучести с эскизом формы.

4) Графики зависимости жидкотекучести от температуры заливки и от состава сплава.

5) Диаграмма состояния олово-свинец.

6) Анализ полученных результатов. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1) Что такое жидкотекучесть?

2) Дайте определение усадки и на что она влияет?

3) Что такое ликвация? Как они влияют на свойства сплавов? Как их устраняют?

4) Какие факторы влияют на жидкотекучесть?

5) Как влияет интервал кристаллизации сплава на жидкотекучесть?

6) Понятия практической, условной и условно-истинной жидкотекучести.

7) Что такое нулевая жидкотекучесть и условия ее появления?

8) Какие сплавы обладают высокой жидкотекучестью?

9) Как определяют жидкотекучесть?

## Список использованной литературы

- 1 Дальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. /Под общ. ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. - М: Машиностроение, 2005 - 592с.
- 2 Колесов С.Н., Колесов И.С.Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учеб.для вузов. Энергетика, энергетическое машиностроение - М.: Высшая школа, 2008. - 534с.
- 3 Шишкин А.В, Чередниченко В.С., Черепанов А.Н., Марусин В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.С.Чередниченко. - 5-е изд.,стер. - М.: Омега-Л, 2009. - 751с.
- 4 Определение жидкотекучести литейных сплавов: методические указания к лабораторной работе для студентов технических специальностей /сост. Мащенко А.Ф., Щекин А.В. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. Ун-т, 2009. - 12с.
- 5 [uzcm.ru>spravka/metall/art/22.php](http://uzcm.ru/spravka/metall/art/22.php)
- 6 [CoolReferat.com](http://CoolReferat.com)>Литейные свойства сплавов 2
- 7 [материаловед.рф](http://материаловед.рф)>учебники...vidy...litejnye-svojstva...