

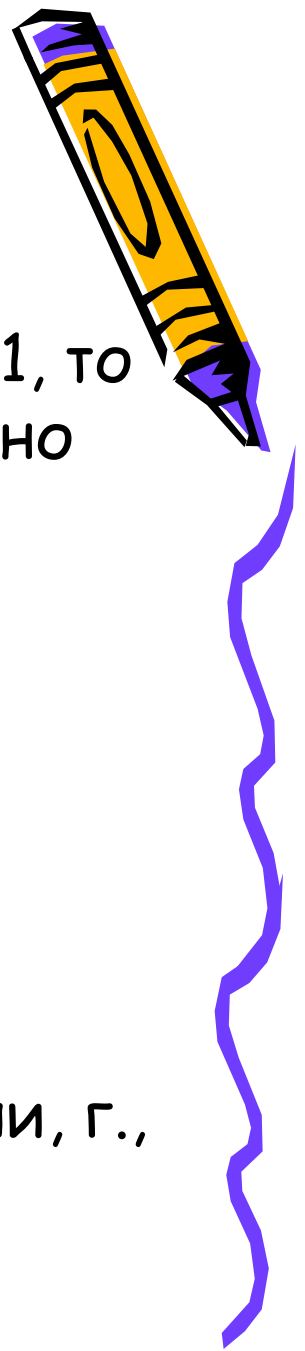


Методы расчета количества  
сплава для литья. Усадка  
сплавов. Виды усадки:  
объемная, линейная.

Способы компенсации  
объемной усадки: депо  
сплава



# Расчёт необходимого количества металла для заполнения формы



Если удельный вес воска считать, что он равен 1, то формулу для определения массы металла можно записать так:

$$P = P_i \times \rho_m + P_d, \text{ где}$$

$P$  — вес необходимого для блока металла, г;

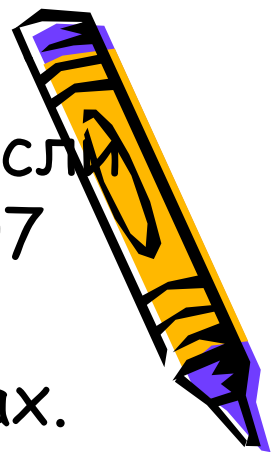
$P_i$  — вес воскового блока (ёлочки), г;

$\rho_m$  — удельный вес металла, г/см<sup>3</sup>;

$P_d$  — дополнительное количество металла, необходимого для заполнения литниковой чаши, г.,



Сначала следует взвесить восковой блок. Если удельный вес золота 585 пробы равен  $13,07 \text{ г/см}^3$ , то полученный вес ёлочки следует умножить на  $13,07$  и выразить его в граммах. Далее к полученному результату следует добавить вес литниковой чаши. Это и будет необходимое количество металла для заливки формы. Дополнительный металл для чаши подбирается опытным путём для каждой опоки. Он обычно равен приблизительно  $15 - 20\%$  от веса остального металла



Так как при заливке металл остаётся в литниковой чаше, отливки при кристаллизации им подпитываются. Если металла недостаточно и нет нормальной литниковой чаши, то в отливках могут быть поры. Если же в чаше ещё есть немного металла, а стояк тоньше массы отливки, то стояк затвердевает раньше них и начинает «вытягивать» металл из отливок, что может привести к пористому литью.



Температуру заливки ( $T_z$ ) определяют по следующей формуле:

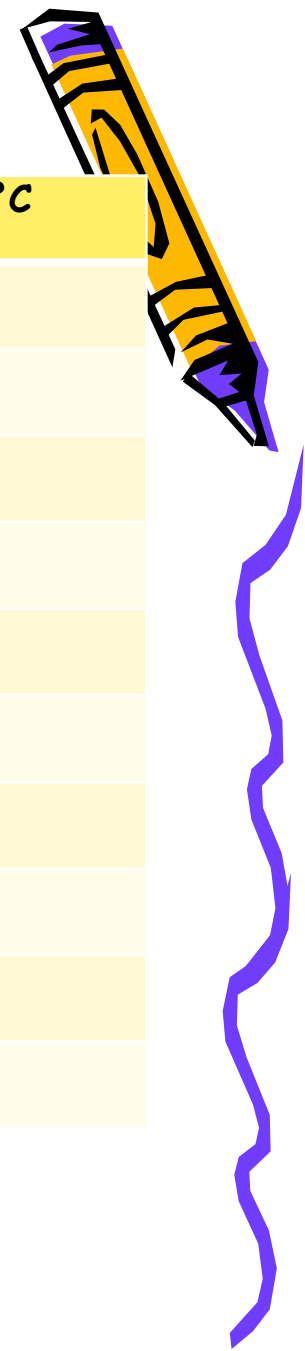
$$T_z = T_{пл} + 50-70^{\circ}\text{C},$$

где  $T_{пл}$  — температура плавления.

Для каждого сплава существуют таблицы, где приводятся температуры металла и опоки. В таблице приведены данные для сплавов золота разных проб, латуни и серебра.



<b>Металл</b>	<b>Тпл, °С</b>	<b>Т опоки, °С</b>
<b>Золото ж. , 375</b>	940-1040	550 - 670
<b>Золото ж. , 750</b>	950-1040	550-670
<b>Золото б. , 375</b>	970-1080	550-670
<b>Золото б. , 750</b>	1025-1125	600-730
<b>Золото ж. , 585</b>	900-1000	550 - 670
<b>Золото, 900</b>	1000-1050	600 - 730
<b>Золото б. , 585</b>	1150-1250	550 - 670
<b>Золото, 999, 9</b>	1063	650
<b>Латунь</b>	960-1040	450-650
<b>Серебро</b>	950-1050	400 - 450

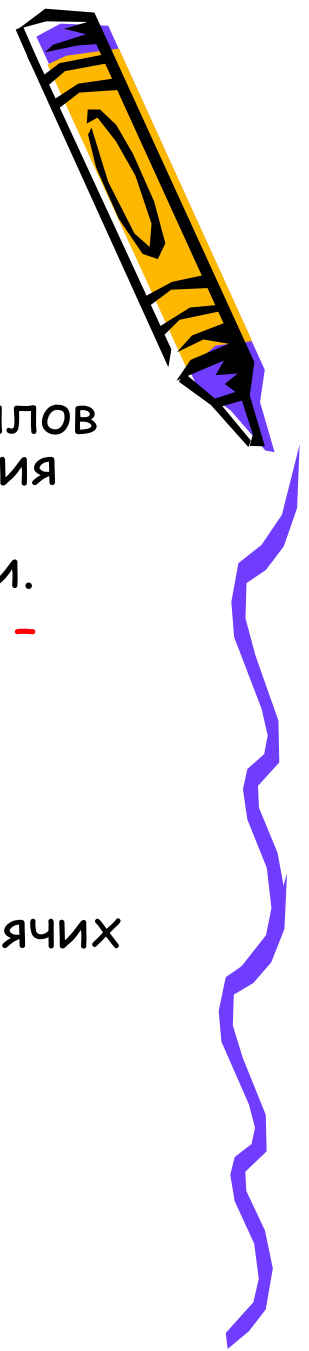


# ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ

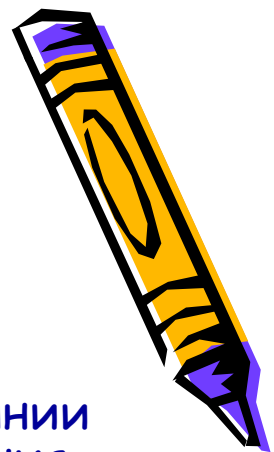
Литейными называют технологические свойства металлов и сплавов, характеризующие возможность получения качественных отливок при заполнении формы, кристаллизация и дальнейшее охлаждение отливки.

**Наиболее важные технологические литейные свойства - это:**

1. жидкотекучесть,
2. вязкость
3. усадка (объемная, линейная, литейная),
4. склонность сплавов к ликвации, к образованию горячих трещин, к поглощению газов, пористости.



# Жидкотекучесть



Это способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии заполнять полость формы и точно воспроизводить очертания отливки.

- Обеспечивает получение плотных высококачественных отливок, уменьшение газовых и усадочных раковин, недоливов и др.
- Зависит от физических свойств сплава: вязкости и поверхностного натяжения.
- На жидкотекучесть оказывает влияние содержание примесей в металле или сплаве, склонность к окисляемости и теплоотводящая способность литейной формы.





# Определение жидкотекучести сплавов



- Способность жидкого сплава заполнять форму необходимо рассматривать как комплексное технологическое свойство, на которое оказывают большое влияние **свойства сплава, свойства формы** и конфигурация ее полостей.
- Жидкотекучесть сплавов определяют с помощью заливки специальных технологических проб в виде тонких прутиков, пластин прямых и спиральных. По пути, пройденному сплавом по каналам технологической пробы (т.е. по длине прутка), находят жидкотекучесть сплава.



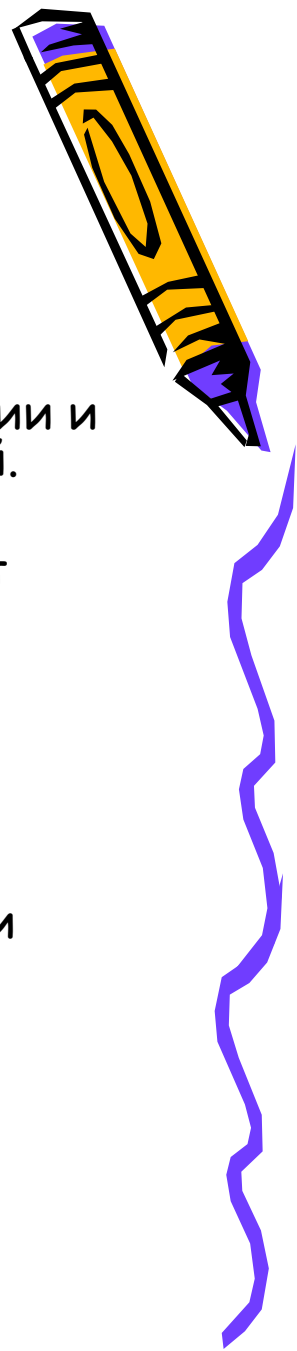
# Влияние свойств формы



- При заливке расплавов формы стенки отводят от него теплоту.
- Эта способность формы определяется ее теплоаккумулирующей способностью.
- Так, например, песчаная форма медленно отводит теплоту, и расплав заполняет ее лучше, чем форму из металла, так как металлическая форма более интенсивно охлаждает движущийся металл.
- Между текущим расплавом и формой возникает внешнее трение.
- Коэффициент трения расплава о форму уменьшается с уменьшением шероховатости рабочей поверхности формы, когда на поверхности формы образуется тонкая газовая пленка из нанесенного покрытия.
- Если количество образующихся в форме газов больше, чем это необходимо, то в форме создается **противодавление**. В таких случаях необходимо устраивать **выпоры** на всех выступающих частях отливки.



# Вязкость



- Характеризует взаимное трение частиц сплава при движении и зависит от его состава, температуры и наличия включений.
- Твердые включения и продукты раскисления увеличивают вязкость сплава, жидкие же неметаллические включения с температурой плавления ниже температуры плавления основного металла уменьшают его.
- Высокая вязкость расплава часто является причиной брака отливок по недоливам.
- С повышением температуры расплава снижается вязкость и соответственно жидкотекучесть его повышается.
- Почти у всех металлов и сплавов чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть.



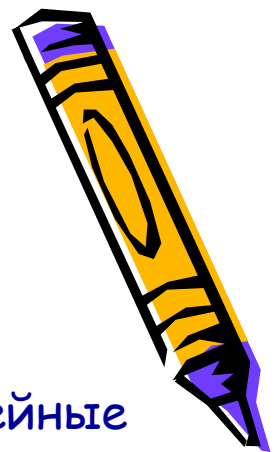
# Поверхностное натяжение



- Это очень важная характеристика жидкого сплава.
- С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть ухудшается, особенно при заполнении тонких каналов.
- Поверхностное натяжение зависит от химического состава сплава, температуры, степени раскисленности и других факторов.



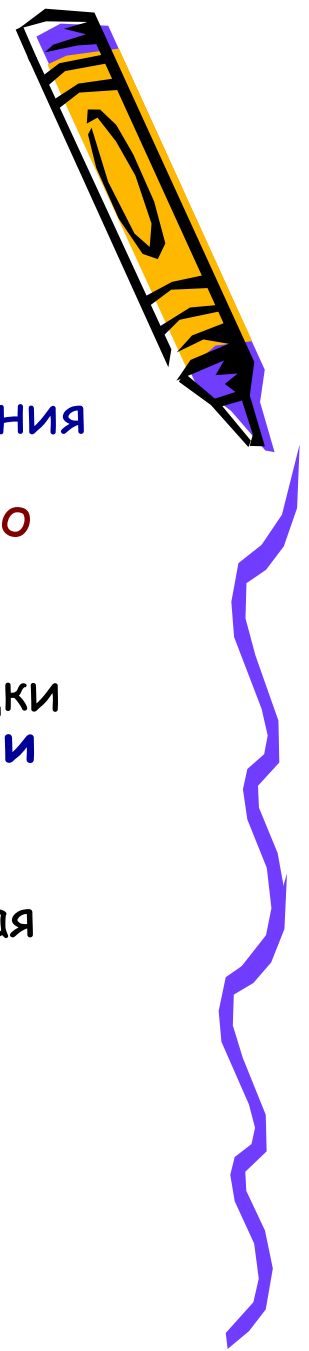
# Усадка



- Это свойство металлов и сплавов уменьшать объем и линейные размеры при затвердевании или при охлаждении.
- Усадка характеризуется процентом уменьшения объема изделия по отношению к модели. Например, усадка золота составляет 5,2% к первоначальному объему, а железа 4,4%.
- Зная коэффициент усадки употребляемого материала, необходимо делать некоторый допуск при изготовлении литейной формы.
- В результате усадки металлов при литье протезов в толще металла могут образоваться усадочные раковины.
- Различают: линейную, литейную, затрудненную, свободную и объемную усадки.

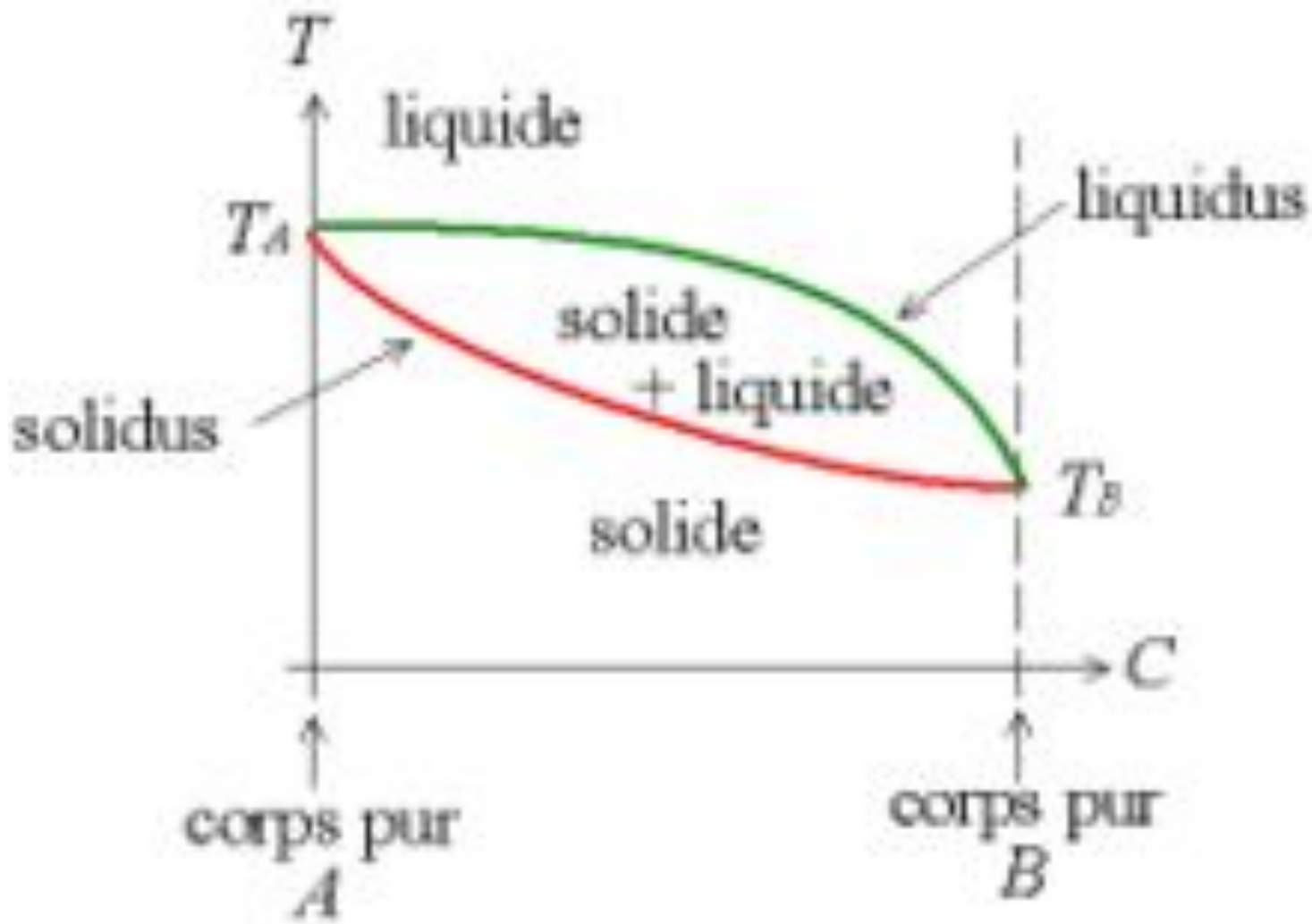


# Линейная усадка

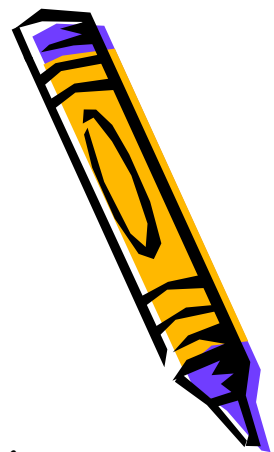


- Начинается не с момента окончательного затвердевания отливки, а несколько раньше - после образования достаточно прочного скелета кристаллов, способного противостоять давлению жидкого сплава.
- Следовательно, температурой начала линейной усадки будет температура, находящаяся между **ликвидусом** и **солидусом**.
- С увеличением интенсивности теплообмена линейная усадка отливки возрастает, т.е. зависит от **скорости охлаждения отливки**.





# Предусадочное расширение

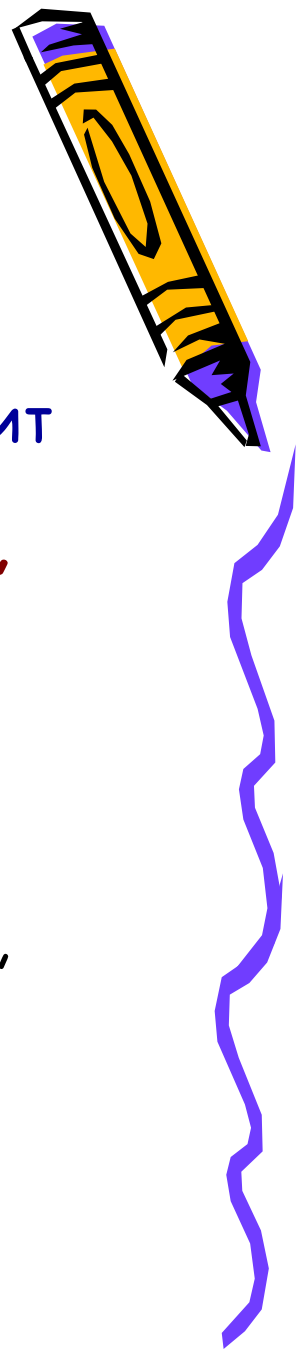


- В некоторых металлах и сплавах происходят фазовые превращения. Например, у чугуна - графитизация, а у стали - выделение газов и т.д.
- Эти превращения способствуют **увеличению объема и размеров отливки**.
- Такое увеличение размеров называется **предусадочным расширением**, которое существенно влияет на усадку многих легированных сталей и сплавов.
- Предусадочное расширение сказывается на объеме усадочных раковин и склонности к образованию трещин в отливках.
- **При увеличении** предусадочного расширения сплава объем усадочных раковин и склонность к образованию трещин **уменьшаются**.





# Литейная усадка



- Отличается от линейной тем, что она зависит не только от свойств и состояния металла и сплава, но также и **от конструкции отливки, конструкции формы** и некоторых других факторов.
- Сложные по конфигурации отливки подвергаются совместному воздействию механического и термического торможения, поэтому принято различать **свободную и затрудненную усадку**.



# Затрудненная усадка



- Возникает в сложных по конфигурации отливках в результате совместного **механического и термического торможения** процесса изменения их размеров и объема при литье.
- В связи с неравномерностью и не одновременностью усадки различных частей отливки в ней возникают остаточные напряжения трех видов:
  1. **механические** (связанные с торможением усадки элементами формы),
  2. **термические** (вызванные различием скоростей охлаждения отдельных частей отливки),
  3. **фазовые** (обусловленные неодновременным протеканием фазовых превращений в различных зонах отливки).
- Если в отливке возникают большие остаточные напряжения, то это вызывает ее **коробление** и возникновение **трещин**.
- **Свободная усадка** зависит главным образом от состава сплава и скорости охлаждения.



# Объемная усадка



- Полная объемная усадка любого металла или сплава при заливке и охлаждении отливки в форме складывается из: усадки сплава в жидком состоянии, при затвердевании от ликвидуса до солидуса и усадки в твердом состоянии.
- Коэффициенты объемной усадки разных сплавов различны. Например, коэффициент объемной усадки жидкой стали  $0,9 \times 10^{-4}$  на  $1^\circ\text{C}$ , жидкой меди  $1,89 \times 10^{-4}$  на  $1^\circ\text{C}$ .
- Результатом объемной усадки может явиться образование в отливке **усадочных раковин и пористости**.



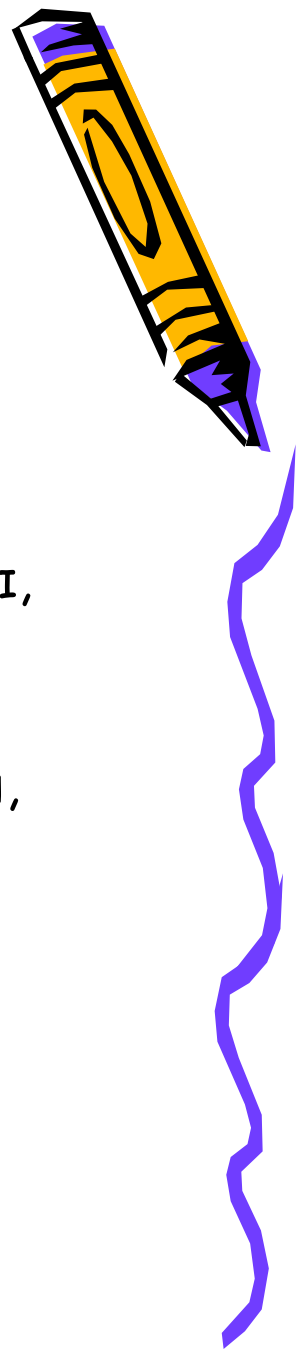
# Усадочные раковины



- Усадочные раковины в отливках - это полости, возникающие вследствие **усадки сплавов при затвердевании**.
- Твердая корка отливки образуется не сразу после отливки формы металлом. В этот период отливка питается расплавом из литниковой системы.
- Затем следует усадка жидкого металла внутри твердой корки при охлаждении до температуры **начала кристаллизации или температуры ликвидуса**.
- Усадка расплава и уменьшение объема при переходе из жидкого состояния в твердое **превышают усадку корки**, поэтому в определенный момент сплав **отделяется** под действием силы тяжести от затвердевшей корки и опускается.
- В следующий период происходит кристаллизация жидкого металла внутри твердой корки, при которой металл изменяет свой объем, и в результате образуется раковина.



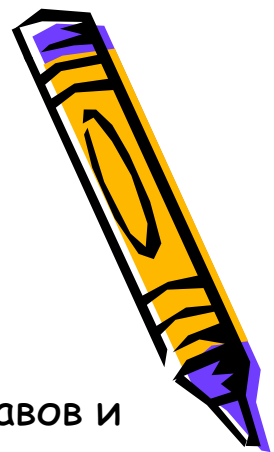
# Усадочные раковины



- В раковинах, в отливках из сплавов, не содержащих газов, **создается разрежение**, вследствие чего тонкая корка может прогнуться внутрь раковины.
- Чтобы не допустить образования усадочной раковины, необходимо на отливках установить **прибыли**, из которых под действием силы тяжести жидкий сплав перемещается в затвердевшую отливку. Усадочная раковина в этом случае образуется только в прибыли, которую отделяют от отливки.
- **Концентрированная усадочная раковина** образуется в отливках из чистых металлов и сплавов с узким интервалом кристаллизации.



# Усадочные раковины

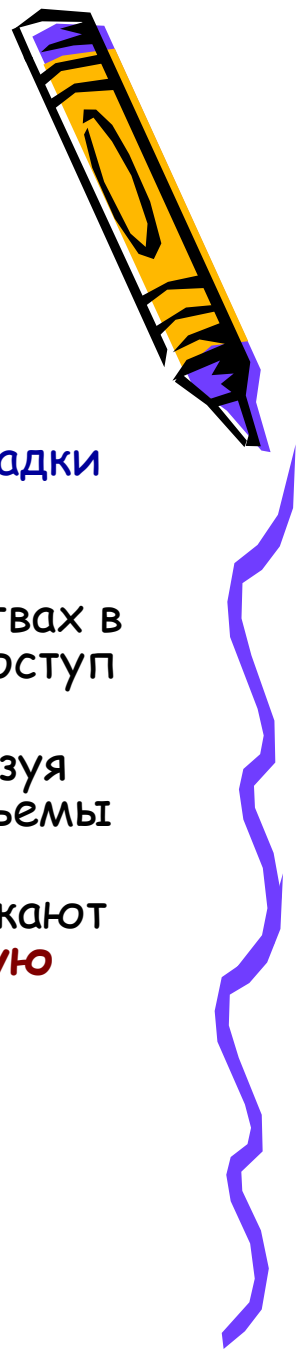


Относительная величина усадочной раковины различна у разных сплавов и зависит от следующих факторов:

- коэффициента усадки металла или сплава в жидком состоянии, который зависит от химического состава сплава;
- температуры жидкого металла или сплава к началу затвердевания отливки; чем выше эта температура, тем больше объем усадочной раковины;
- величины усадки при затвердевании, зависящей от состава сплава;
- податливости формы; чем податливее форма, тем больше усадка, и наоборот.



# Усадочная пористость



- Это скопление мелких пустот (пор) неправильной формы, которые образовались в отливке в результате **объемной усадки при отсутствии доступа жидкого металла.**
- Усадочные поры появляются в междендритных пространствах в тот момент, когда объемная усадка еще продолжается, а доступ жидкого металла к порам прекратился.
- При затвердевании растущие дендриты соединяются, образуя изолированные друг от друга и от прибыли небольшие объемы расплава.
- При прекращении питания этих объемов расплавом возникают небольшие раковины, совокупность которых дает **усадочную пористость.**



# Виды пористости



- **Рассеянная пористость** - мелкие поры, равномерно рассеянные по большей части объема отливки. Она развивается при медленном затвердевании массивных отливок из сплавов с большим температурным интервалом затвердевания.
- **Осевая пористость** образуется в центральных частях отливок, а также в длинных и тонких сечениях. Это объясняется тем, что объемная усадка центральной части еще не закончилась, а доступ к ней жидкого сплава ухудшился или же вовсе прекратился.
- **Местная усадочная** пористость образуется в частях отливки, отделенных от жидкого сплава уже затвердевшим сплавом, который прекратил доступ жидкого сплава в них. Состоит из пор больших размеров, сконцентрированных в массивных местах отливок и в местах подвода литников.





# Способы устранения усадочных раковин и пористости



- Усадочные раковины и усадочная пористость **нарушают и ослабляют сечение отливки.**
- Они возникают в тех местах отливок, которые **затвердевают последними.**
- Следовательно, единственный способ получения отливок без усадочных раковин и пор - **подача жидкого сплава в форму в течение всего процесса затвердевания сплава в форме.**
- Подвод жидкого металла к кристаллизующемуся месту должен быть непрерывным до полного затвердевания отливки.
- С этой целью на отливки устанавливают **прибыли** - резервуары с необходимым запасом жидкого сплава для питания отливки в течение всего периода кристаллизации.

**Раковины и поры устраняются применением рациональной литниковой системы и установкой прибыли.**



# Прибыли



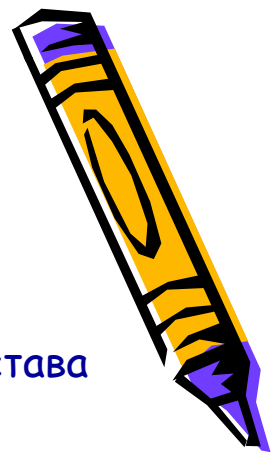
Для обеспечения питания отливки жидким сплавом из прибыли необходимо выполнять следующие условия:

- запас сплава в прибыли должен быть таким, чтобы его хватило на компенсацию усадки во время затвердевания отливки;
- прибыль должна затвердевать позже отливки;
- прибыль на отливке необходимо ставить там, где она обеспечит доступ жидкого сплава на участки отливки, затвердевающие последними.



# Ликвация в отливках

- Ликвация - это процесс развития **неоднородности химического состава сплава** в различных частях отливки.
- Возникает в процессе затвердевания отливки.
- Причина ликвации заключается в **различной растворимости отдельных компонентов сплава** в его твердой и жидкой фазах.
- Чем больше это различие, тем **неоднороднее** распределяется примесь по сечению отливки и тем больше ликвация примеси.
- **Ликвация вызывает неоднородность механических свойств в различных частях отливки, что приводит к поломкам деталей при эксплуатации.**
- Развитие химической неоднородности может происходить как внутри отдельных дендритов слитка (**дендритная ликвация**), так и по отдельным его зонам (**зональная ликвация**).



# Дендритная (внутрикристаллическая) ликвация



Это развитие химической неоднородности внутри отдельных кристаллов сплава.

- Она возникает вследствие процесса "избирательной кристаллизации":
- растущие первыми оси дендритов содержат меньшее количество примесей, чем исходный сплав, а остающийся жидкий сплав обогащается примесями.
- распределение примесей по сечению кристалла будет неравномерным - в межосных пространствах дендритов также скапливаются примеси.



# Зональная ликвация



- Это процесс развития химической неоднородности сплава в различных частях **затвердевающей отливки**.
- Большое влияние оказывают процессы, приводящие к **перемещению ликвирующих элементов** из одной части отливки в другую при кристаллизации.
- Это могут быть: **диффузия примесей из двухфазной области кристаллизующейся отливки в объеме не затвердевшего жидкого сплава**, **конвекционные токи в жидкой части сплава**, **всплывание загрязненных примесями объемов вследствие их меньшей плотности по сравнению с основным сплавом**, **действие центробежных сил** и т.д.
- Разновидность зональной ликвации - **ликвация по плотности**, при которой происходит **механическое разделение компонентов сплава**, имеющих различную плотность.



# Зональная ликвация



- Зональная ликвация может быть **прямой и обратной**.
- При **прямой ликвации** центральные слои отливки обогащены примесями, понижающими температуру плавления сплава.
- Содержание этих примесей в поверхностных слоях ниже среднего по объему отливки.
- При **обратной ликвации** в центральных частях содержится меньшее количество легкоплавких примесей, а в поверхности -- большее.
- Развитие того или другого вида зональной ликвации связано с **характером кристаллизации сплава и условиями охлаждения отливки**.
- **Прямая ликвация** характерна для сплавов, затвердевающих почти объемно.



# Устранение ликвации



## Ликвацию устраняют:

1. Применением диффузного отжига.
2. Конструктивно-технологическими методами:
  - выравниванием толщины отливки,
  - увеличением скорости ее охлаждения и др.



# СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ СПЛАВОВ

**Железо:** (-) усадка.

**Углерод:** (-) коррозионность, (+) твердость.

**Хром:** (-) качество плавки, (+) твердость, антикоррозионность.

**Никель:** (-) вязкость, (+) уменьшение усадки, хим.устойчивость.

**Кремний:** (+) жидкотекучесть, жаростойкость.

**Титан:** (+) антикоррозионность.

**Молибден:** (+) улучшение кристаллической структуры, жидкотекучесть, понижение  $T^{\circ}$  плавления, удаление газов.

**Бериллий:** (-) канцероген, накапливается в организме, в костях и легких.

