

Анализ изломов металла

Внутренние дефекты, которые могут привести к разрушению изделия, выявляются при изучении изломов.

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металлов. Изломы металлов могут существенно отличаться по цвету. Так, стали и белые чугуны, в которых весь углерод связан в цементите, имеют излом светло-серого цвета. У графитизированных сталей и чугунов, в которых углерод находится преимущественно в виде графита, излом черного цвета.

На поверхности изломов можно видеть дефекты, которые способствовали разрушению. В зависимости от состава, строения металла, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы могут иметь вязкий, хрупкий или усталостный характер.

Анализ изломов металла осуществляется с помощью макроскопического и микроскопического анализов. Макроскопический анализ заключается в определении строения металла невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз), и как правило является предварительным видом исследования.

Метод визуального наблюдения изломов называют фрактографией. На изломах макроструктуру оценивают путем сравнения с нормативными макроструктурами, приведенными в ГОСТ 10243–75, по 25 параметрам.

Макростроение можно изучать не только непосредственно на поверхности заготовки, но и в изломе заготовки, а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в её шлифовании и травлении специальными реактивами. Шлифованный и протравленный образец называют макрошлифом, если макрошлиф изготовлен в поперечном сечении детали, то его называют тамплетом.

Методом макроанализа определяют:

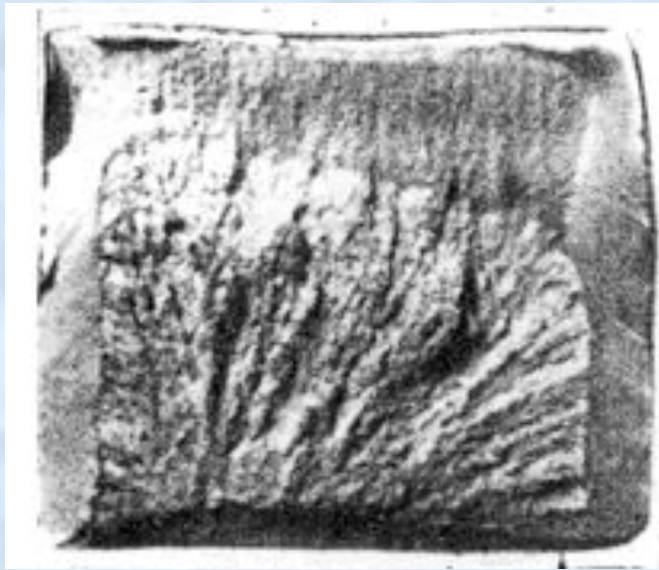
1. вид излома – вязкий, хрупкий, нафталинистый (в стали), камневидный и др.
2. Нарушения сплошности металла – усадочная рыхлость, центральная пористость, свищи, подкорковые пузыри, межкристаллические трещины, флокены в стали, дефекты сварки и др.
3. дендритное строение, зону кристаллизации в литом металле
4. химическую неоднородность литого металла (ликвацию) и грубые включения
5. волокнистую структуру деформированного металла
6. расположение волокон в композиционном материале.

По характеру разрушения изломы подразделяют на хрупкие, вязкие и усталостные.

Хрупкий излом имеет блестящую кристаллическую поверхность, на которой достаточно четко видны зерна определенных размеров и формы, так как разрушение происходит без значительной пластической деформации. Хрупкое разрушение может быть межкристаллическим (по границам зерен) и транскристаллическим (по телу зерен). Это наиболее опасный и быстрый вид разрушения, приводящий к преждевременному внезапному отказу деталей в условиях эксплуатации.

Вязкий излом имеет матовую поверхность и обычно волокнистое строение с зернами сильно искаженных размеров и формы, так как разрушение сопровождается значительной пластической деформацией. Вязкий излом менее опасен, чем хрупкий.

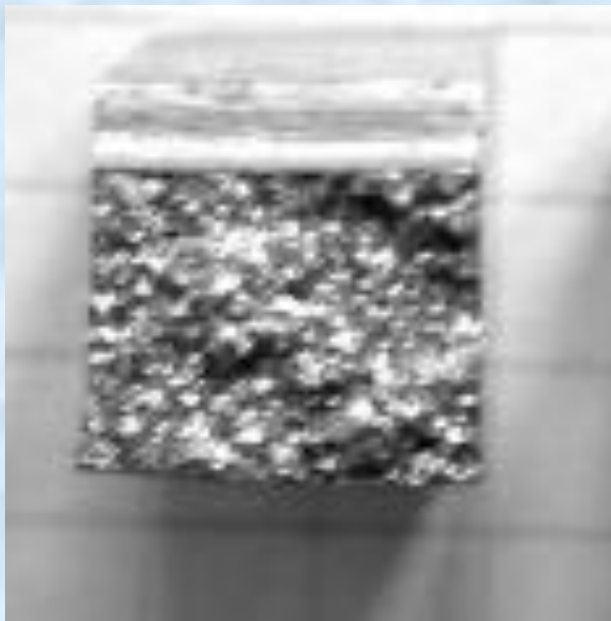
При циклических (повторно-переменных) нагрузках материал подвержен *усталостному разрушению*. Усталостная трещина зарождается обычно на поверхности детали в местах наибольшей концентрации напряжений (галтели, отверстия, надрезы, неметаллические включения и др.).



Расходящиеся рубцы указывают направление разрушения.

Кристаллическим (хрупким) называется блестящий светлосерый излом. При рассмотрении поверхности такого излома нетрудно заметить, что она состоит из граней мелких частиц, обладающих значительной отражающей способностью и потому в совокупности создающих сильный металлический блеск. У проб с кристаллическим строением излома, как правило, отсутствует вытяжка («утяжка») металла по внешнему контуру излома.

При наличии кристаллического излома можно сделать заключение, что разрушение в этом случае не сопровождается значительной пластической деформацией зерен металла в зоне, прилегающей к поверхности излома. Такая сталь характеризуется пониженной ударной вязкостью, по сравнению со сталью того же состава, но имеющей более вязкий волокнистый излом. Изменяя в необходимом направлении условия термической обработки, можно при сохранении твердости и прочности стали примерно на одном уровне получить кристаллический волокнистый или смешанный излом (например, вызывая или устраняя отпускную хрупкость).

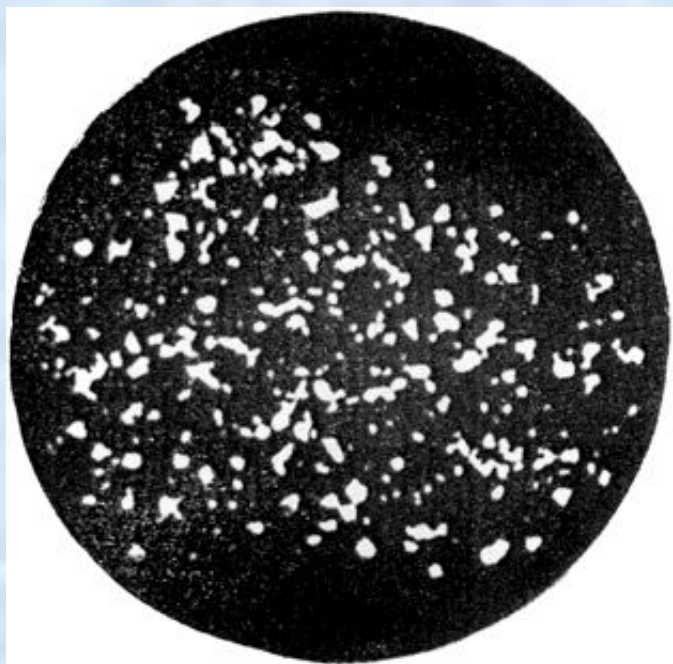


Хрупкое разрушение протекает без заметной предшествующей пластической деформации. Форма зерна не искажается и на изломе виден исходный размер зерен металла. Поверхность хрупкого излома блестящая, кристаллическая. Разрушение может происходить через зерна (транскристаллический излом), либо по границам зерен (интеркристаллический или межкристаллический излом). Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как происходит чаще всего при напряжениях ниже предела текучести материала.

Хрупкое (кристаллическое) разрушение по границам зерен имеет место при наличии на границах неметаллических включений (фосфиды, сульфиды, оксиды) или других выделений, ослабляющих прочность границ зерна.

Возникновению хрупкого разрушения способствуют наличие поверхностных дефектов, конструкционные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделение по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия. Разновидностями хрупкого излома являются нафталинистый, камневидный, фарфоровидный и др.

Нафталинистый излом - транскристаллический с крупным зерном характеризуется однородной поверхностью разрушения с наличием крупных, гладких плоских участков (фасеток) с характерным блеском, подобным блеску кристаллов нафталина. Он свидетельствует о повышенной хрупкости стали и наблюдается в легированных, преимущественно быстрорежущих сталях. Причиной возникновения такого излома является перегрев стали, вызывающий укрупнение зерен и образование определенной ориентации структурных составляющих (текстура). Внешне в изломе текстура проявляется как одно крупное зерно. Нафталинистый излом устраняется путем многократных повторных фазовых перекристаллизаций металла.



Образование нафталинистого излома связано с внутризеренным хрупким разрушением по определенным кристаллографическим плоскостям, например, в пределах бывшего крупного аустенитного зерна. При рассмотрении на микроуровне выявляются преимущественно фасетки квазискола



Камневидный излом - однородная поверхность разрушения, характеризующаяся грубозернистым строением; зерна (с металлическим блеском или без него) представляются как бы оплавленными. Имеет место у перегретых материалов или (при нормальном состоянии) в стали при распространении трещины по границам зерен. При рассмотрении на микроуровне выявляются фасетки межзеренного разрушения. На поверхности фасеток могут наблюдаться ямки (например, в сталях после закалки и высокого отпуска), глубина и диаметр которых невелики.



Вязкое разрушение происходит срезом под действием касательных напряжений и сопровождается значительной пластической деформацией. Вязкий (волокнуистый) излом имеет бугристо-сглаженный рельеф и свидетельствует о значительной пластической деформации, предшествующей разрушению. Поверхность излома матовая, с мелким, неразличимым глазом, зерном. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.



. **Волокнуистый излом** - матовая шероховатая поверхность разрушения, как правило, с признаками пластической деформации (утяжка, расходящиеся рубцы).

Волокнуистый излом является признаком вязкого разрушения. При рассмотрении на микроуровне на изломе выявляются ямки, фасетки квазискола



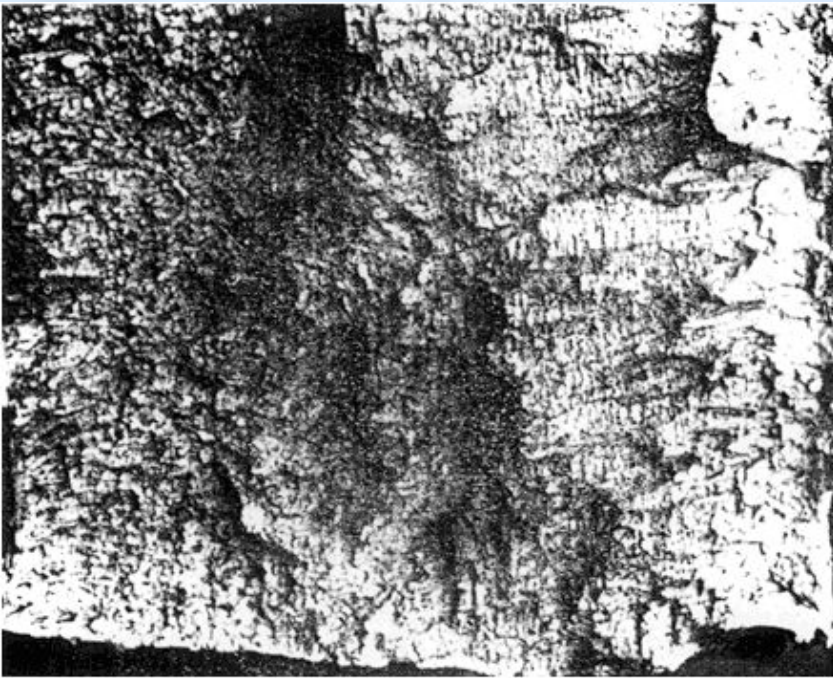
Волокнисто-полосчатый излом - поверхность разрушения, характеризующаяся наличием слоистости.

Слоистость связана, как правило, со структурной неоднородностью деформированного материала. Проявлением структурной неоднородности может быть шиферность в изломе (мелкие расщепления, образовавшиеся в процессе поломки).



Волокнисто-чешуйчатый излом - поверхность разрушения, характеризующаяся наличием гладких участков в виде чешуек.

Подобный излом характерен для разрушения деформированных материалов в направлении толщины листа (перпендикулярно плоскости листа).



Дендритный излом - неоднородная поверхность разрушения, характеризующаяся наличием столбчатых кристаллов с четко выраженным рельефом элементов дендритного строения металла.

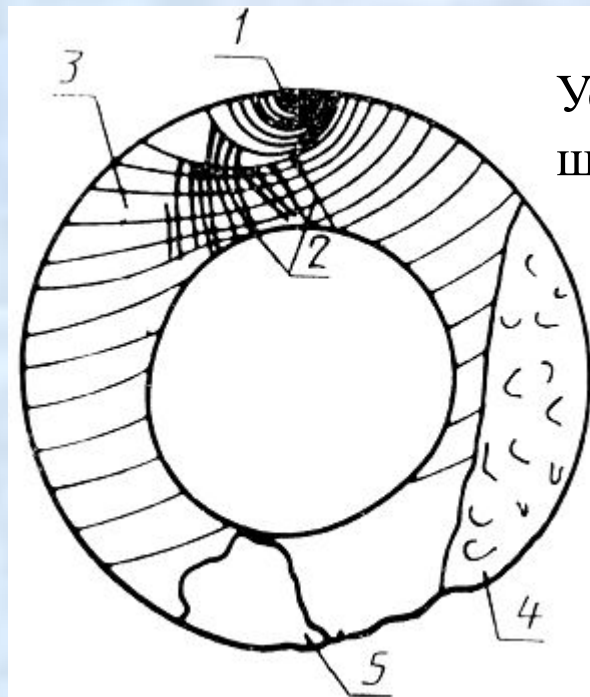
Характерен в основном для литых материалов. Разрушение с образованием дендритного излома может носить и вязкий, и хрупкий характер. В первом случае поверхность разрушения выглядит матовой, серого цвета; во втором случае - светлой и блестящей.

Материалы разрушаются по разному в случаях усталости и при однократных нагрузках. В случае усталостного нагружения начало пластической деформации, вызванное движением дислокаций, может быть при напряжениях меньше предела текучести. При увеличении числа циклов нагружения увеличивается плотность дислокаций, в первую очередь, в поверхностных слоях. Тонкие линии скольжения на поверхности превращаются в характерные полосы, профиль которых представлен в виде выступов и впадин. Глубина впадин в зависимости от времени испытания может достигать 10–30 мкм. При образовании устойчивых полос скольжения происходит чередование областей с высокой и низкой плотностью дислокаций.

Процесс усталостного разрушения достаточно длителен, так как он связан с постоянным накоплением повреждений, развитием и перемещением трещины. В усталостном изломе рассматривают 3 зоны: очаг разрушения; зону усталостного разрушения с гладкой, ступенчато-слоистой, мелкозернистой, фарфоровидной поверхностью и зону долома со структурой типичной или для хрупкого, или для вязкого излома (в зависимости от строения и свойств материала). Для фиксирования результатов анализа применяют фотографирование макроструктуры.

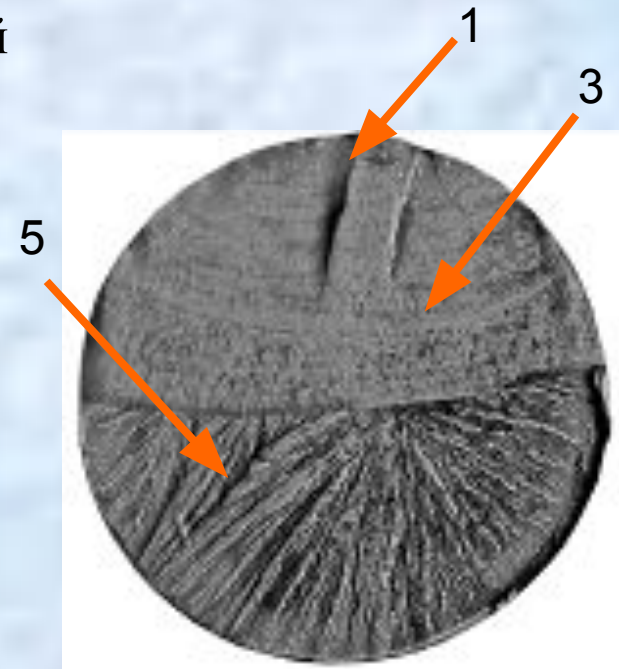


Усталостный излом образуется в результате длительного воздействия на металл циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций. Разрушение начинается на поверхности (или вблизи нее) локально, в местах концентрации напряжений (деформации). Усталостная трещина возникает в местах, где имеются концентраторы напряжений или дефекты. Излом состоит из очага разрушения и двух зон – усталости и долома.



Усталостный излом шатунной шейки коленчатого вала

- 1 - очаг разрушения;
- 2 - ступеньки и рубцы;
- 3 - усталостные линии;
- 4 - зона ускоренного развития трещины;
- 5 - зона долома

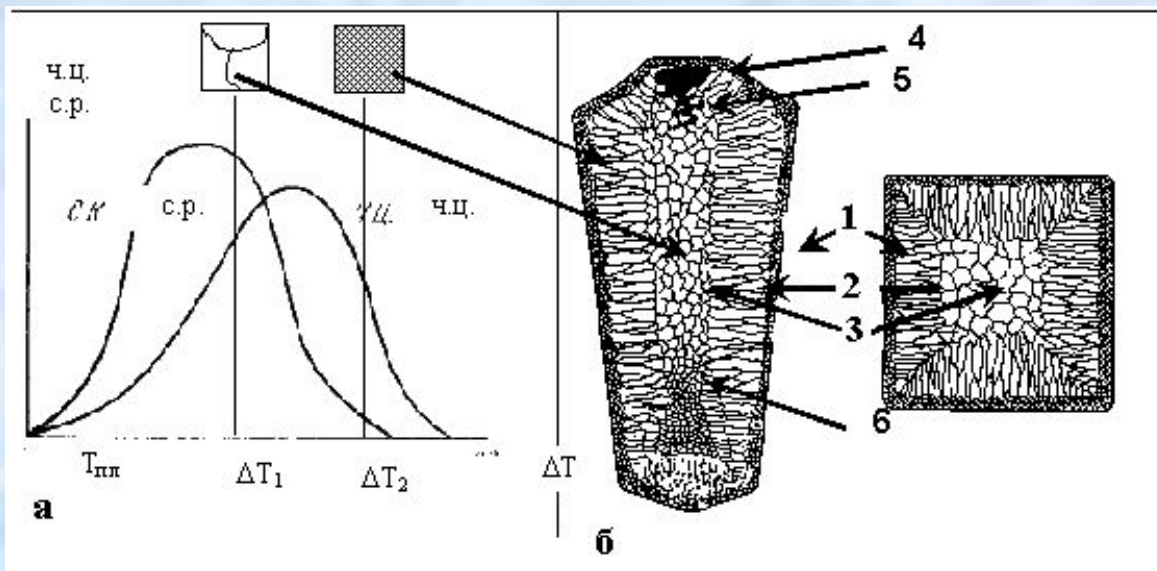


Чтобы придать стали достаточную для обеспечения волокнистого излома вязкость, следует соблюсти, по крайней мере, шесть условий, которые могут обеспечить необходимую вязкость:

1. Карбидная составляющая должна быть равномерно распределена и иметь глобулярную, а не пластинчатую форму.
2. Карбиды должны иметь средние размеры не менее некоторого «критического значения», зависящего от ряда факторов, но, в первую очередь, от количества углерода в стали.
3. Ферритная основа термически улучшенной стали должна иметь мелкозернистое строение.
4. Ферритная основа термически улучшаемой стали должна быть легирована элементами, не снижающими существенно ее вязкости. С этой точки зрения, нежелательно введение в сталь повышенного количества кремния, а также марганца.
5. Сталь не должна иметь сильно развитой восприимчивости к отпускной хрупкости, особенно если обрабатываемые изделия имеют повышенную толщину и охлаждение в воде не является достаточным средством для устранения процессов, вызывающих появление отпускной хрупкости. Отсюда вытекает также необходимость минимального содержания в стали фосфора и пониженного содержания марганца.
6. Сталь должна обладать высоким металлургическим качеством и не иметь резко развитой дендритной ликвации.

Изучение дендритной макроструктуры литого металла

Изучение дендритной структуры осуществляется после глубокого травления. Форма и размер зерен в слитке зависят от условий кристаллизации: температуры жидкого металла, скорости и направления отвода тепла, примесей в металле. Рост зерна происходит по дендритной (древовидной) схеме.



Строение металлического слитка.

а) Зависимость числа центров кристаллизации (ч.ц.) и скорости роста кристаллов (с.р.) от степени переохлаждения ΔT .

б) Макроструктура слитка: 1 – мелкие равноосные зерна (корковая зона), 2 – столбчатые дендриты, 3 – крупные равноосные зерна, 4 – усадочная раковина, 5 – усадочная рыхлость, 6 – ликвационная зона.

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации $T_{пл}$ число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей ΔT_1 , то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая). При переохлаждении до температуры соответствующей ΔT_2 – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты. Растут дендриты в направлении, близком к направлению теплоотвода. Так как теплоотвод от не закристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

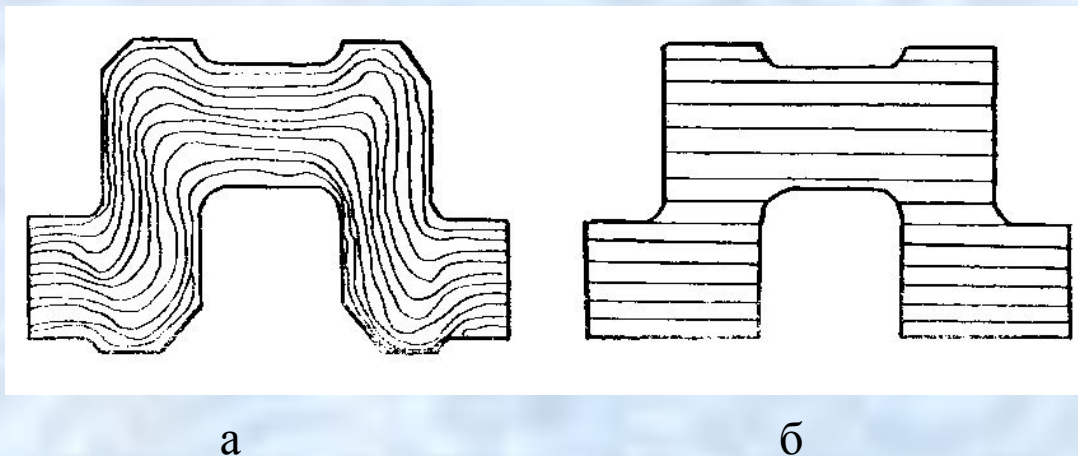
В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20% от длины слитка).

Слитки сплавов имеют неодинаковый состав. В процессе кристаллизации все легкоплавкие примеси оттесняются в центр слитка. Химическая неоднородность по отдельным зонам слитка называется зональной ликвацией.

Продукцией металлургических предприятий, как правило, является металл, претерпевший горячую обработку давлением – ковку, штамповку, прокатку и т.д. При деформировании дендриты, вначале дезориентированные, постепенно поворачиваются и вытягиваются вдоль направления деформации. Вытягиваются и неметаллические включения. В результате этого формируется типичная для деформированного металла волокнистая структура



При определении механических свойств необходимо помнить, что металл с волокнистой структурой обладает анизотропией, то есть различием свойств в зависимости от направления. Пластичность, ударная вязкость и прочность материала поперек волокна выше, чем вдоль. Поэтому ответственные детали, особенно работающие при высоких динамических нагрузках (коленчатые валы, шестерни, шатуны, молотовые штампы, клапаны, крюки), изготавливают так, чтобы волокна в них не перерезались, а соответствовали конфигурации изделия. При обработке резанием детали из деформированной стали, ее волокна перерезаются, что резко снижает прочность детали. Макроанализ позволяет установить способ изготовления деталей – обработка давлением или резанием



Макроструктура (зарисовка) продольного разреза коленчатого вала с правильным (а) и неправильным (б) расположением волокон.