

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

_____ О.Ю. Ваулина

«01» сентября 2019г.

Макроскопический метод исследования металлов и сплавов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Общее материаловедение»
для студентов направления 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

УДК 629

Лабораторный практикум: Метод, указ. по выполнению лаб. работы по курсу "Общее материаловедение" для студентов направления 22.03.01
Материаловедение и технологии материалов - Томск: Изд. ТПУ, 2015. - 21 с.

Составитель к.т..н., доцент О.Ю.Ваулина

Рецензент к.ф-м.н. Б.С. Зенин

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры ММС "01" сентября 2019г.

Руководитель ООП _____ О.Ю. Ваулина

1. ЗАДАЧИ РАБОТЫ

- 1) Знакомство с методами макроскопического анализа;
- 2) Определение качества металла с помощью макроанализа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Макроструктурным анализом (макроанализ) называется метод исследования строения металлов и сплавов невооруженным глазом или через лупу и бинокулярный микроскоп при увеличении до 30-50 раз. Строение металлов, изучаемое при помощи макроанализа, называется макроструктурой.

По выполнению и применяемому оборудованию макроструктурный анализ является наиболее простым методом исследования металлов. При макроанализе можно одновременно наблюдать большую поверхность детали (заготовки). Макроструктура исследуется непосредственно на поверхности изделия, на изломах и т.д. Это дает представление об общем строении металла, позволяет судить о его качестве, определять условия предшествовавшей обработки (плавки, разливки и затвердевания), а также характер и качество обработки, применявшиеся для придания детали окончательной формы и свойств (литье, обработка давлением, сварка и др.).

Существует несколько способов макроанализа, которые различаются главным образом по задачам, поставленным при исследовании конкретных деталей (заготовок):

1. Изучение излома;
2. Выявление дефектов, нарушающих сплошность (целостность) металла;
3. Определение строения металла, сформировавшегося при первичной кристаллизации;
4. Определение химической неоднородности сплава (ликвации);
5. Определение неоднородности строения металла (волокнистости), обусловленной обработкой давлением;
6. Определение неоднородности состава и структуры, возникших после обработок.

Макроструктура металла на изломах изучается по характерным видам излома деталей в процессе их эксплуатации или на специально подготовленных изломах образцов. Все остальные способы макроанализа требуют изготовления специальных образцов (темплетов или макрошлифов).

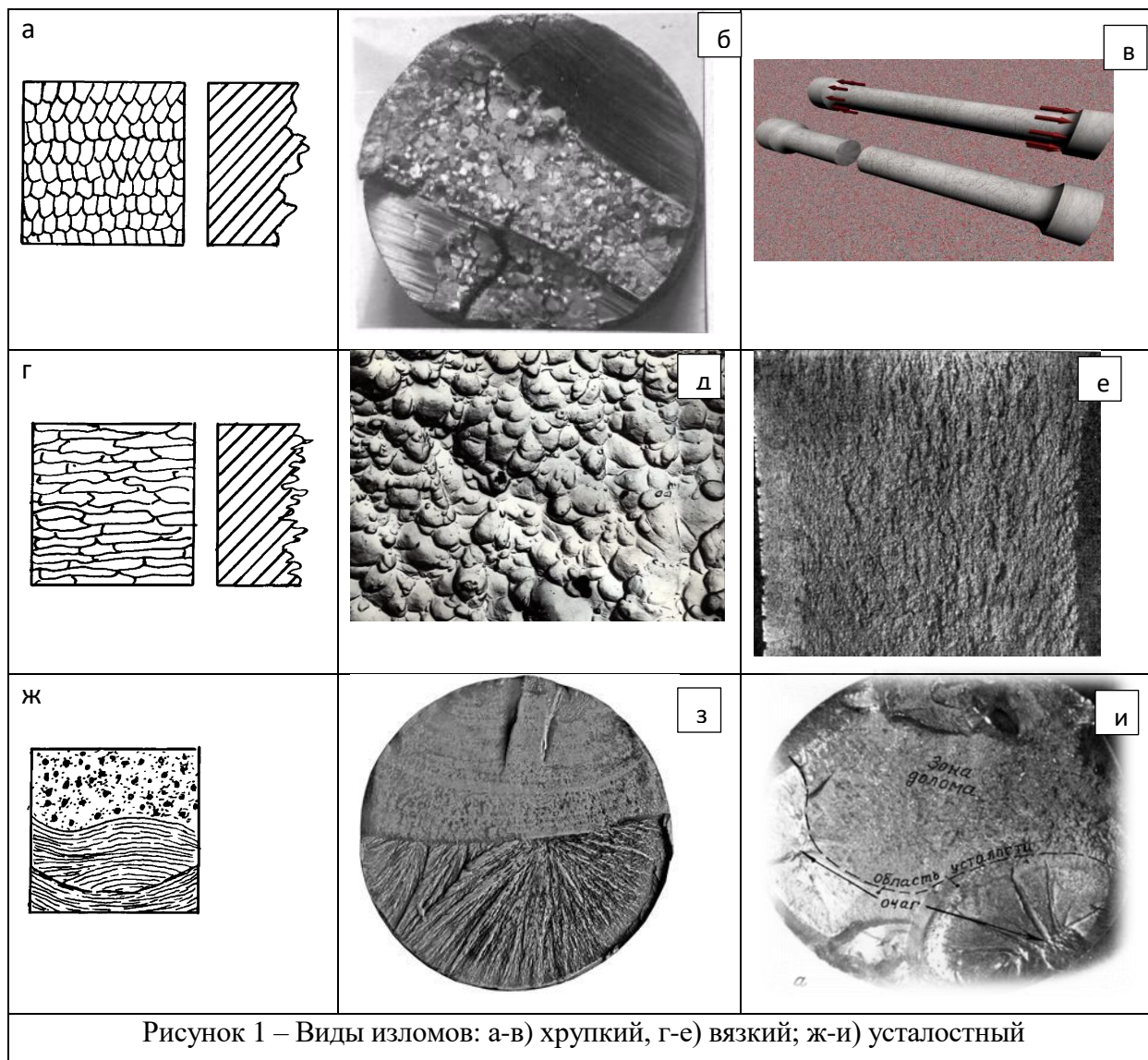
Темплет в металловедении - плоский образец, вырезанный из металлического изделия или заготовки и предназначенный для выявления и изучения на нём макроструктуры изделия. Для этих целей темплет шлифуют, а затем обрабатывают растворами щелочей и кислот

В зависимости от назначения макрошлифы вырезаются из крупных заготовок (слитков, оковок, проката и т. д.), а также из изделий в продольном или поперечном направлении. Общим при изготовлении макрошлифов является вырезка темплетов, одна поверхность которых плоская. Последняя подвергается шлифовке на плоскошлифовальном станке наждачным кругом, а затем наждачной бумагой различной зернистости с постепенным переходом от грубой к более тонкой. Шлифование обычно заканчивается бумагой с зерном 120-140. Дальнейшая обработка темплетов зависит от целей исследования.

2.1. Макроанализ изломов

При изучении вида излома можно установить характер разрушения изделия (хрупкое, вязкое или усталостное), структурную и химическую неоднородность, созданную термической или химико-термической обработкой (закалкой или цементацией). В плоскости излома изделия также можно обнаружить дефекты, которые способствовали его разрушению.

Хрупкий излом, рисунок 1а-в, имеет кристаллическое строение. Хрупкий излом довольно ровный, блестящий. В изломе обычно видно форму и размер зерен металла, так как излом происходит без большой пластической деформации. При этом излом может происходить как по границам зерен (межкристаллический), так и по телу зерна (транскристаллический). Хрупкий излом характеризуется чётко выраженными границами зёрен, без видимых следов их пластической деформации. Металл, склонный к хрупкому разрушению, может разрушиться даже под действием небольших внешних сил.



Вязкий излом (рисунок 1г-е) имеет характерное волокнистое строение (последнее не следует смешивать с волокнистым макростроением металла, формирующимся при пластическом течении при обработке давлением). Форма и размер зерен искажены так как разрушение в этом случае сопровождается большой пластической деформацией. Вязкий излом характеризуется большей или меньшей степенью деформации металла, предшествовавшей его разрушению. Границы отдельных зерен в этом случае не просматриваются.

Усталостный излом.

Характер излома, полученного в результате разрушения деталей машин, может указать, произошло ли их разрушение мгновенно, или процесс разрушения развивался постепенно, во времени (часы, сутки, месяцы).

При постепенном развитии процесса разрушения образуется характерный

излом, называемый усталостным.

Процесс разрушения в этом случае обычно начинается у поверхности детали и постепенно распространяется вглубь, давая сглаженную поверхность в местах зарождения трещин. Сглаженная поверхность получается в результате длительного контакта (трения) двух поверхностей образовавшейся микротрещины.

Когда сечение детали значительно ослабевает, в результате увеличения количества микротрещин и роста их протяженности, происходит мгновенное, полное разрушение детали с кристаллическим строением второй части излома.

Усталостный излом (рисунок 1ж-и) всегда имеет две зоны разрушения: усталостную с мелкозернистым, фарфоровидным часто ступенчато-сложным строением, иногда с отдельными участками блестящей как бы шлифованной поверхности, и зону вязкого или хрупкого разрушения (в зависимости от строения и свойств металла). Усталостная зона начинается от так называемого очага разрушения, каким может выступать микронесплошность, шлаковое включение и тому подобные дефекты. Зона усталости переходит затем в зону долома.

Усталостные разрушения встречаются в деталях, работающих с переменными нагрузками по величине и знаку с большой частотой.

Если деталь работала при нормальных нагрузках (без перегрузок), а металл обладал достаточно высокой пластичностью, то зона медленного разрушения значительно больше зоны мгновенного разрушения, и, наоборот, если работа детали сопровождалась временными перегрузками, или металл имел высокую твердость и низкую вязкость, то зона медленного разрушения занимает малую площадь в сечении излома, а зона мгновенного излома - большую площадь.

Обычно разрушение деталей в результате их усталости наблюдается при несовершенстве их геометрической формы (наличие резких переходов от одной поверхности к другой), наличии на поверхности задиров, рисок, царапин, загрязнённости металла неметаллическими включениями. На рисунке 1г приведена схема усталостного излома.

Задир - (scoring, scuffing) – образование в результате схватывания различимой невооружённым глазом борозды с оттеснением материала как в стороны, так и по направлению скольжения

Существует внутренняя связь между наблюдаемой на изломе величиной зерна и свойствами металла. Особенно резко величина зерна влияет на сопротивление металла динамическим нагрузкам, на его вязкость. Чем крупнее зерно, тем сплав становится более хрупким. Хрупкость металла может явиться причиной разрушения деталей машин и конструкций в процессе их эксплуатации.

Пластическая деформация (прокатка, ковка, штамповка), термическая обработка (отжиг, нормализация, закалка) могут вернуть сплаву мелкозернистое строение, разрушить крупное зерно, не нарушая сплошности металла.

На рисунке 2а показан излом хромоникелевой стали, где видны своеобразные белые пятна - флокены. В поперечном макрошлифе флокены обнаруживаются в виде мелких трещин (рисунок 2б), количество которых увеличивается к сердцевине заготовки. Такая сталь не пригодна для применения. Флокены могут встречаться во всех сталях, но наиболее часто встречаются в сталях, легированных хромом.

Появление флокенов связано с растворением в стали водорода, который при быстром охлаждении до температуры ниже 200-300 °С выделяется из раствора и создает значительные внутренние напряжения, приводящие к образованию трещин (флокенов). Для устранения флокенов массивные поковки подвергают длительному обезводороживающему отжигу.

Макроанализ излома позволяет обнаружить усадочную рыхлость, газовые пузыри, пустоты, трещины, неметаллические включения и другие дефекты в литом состоянии или после обработки давлением, или в сварных швах.

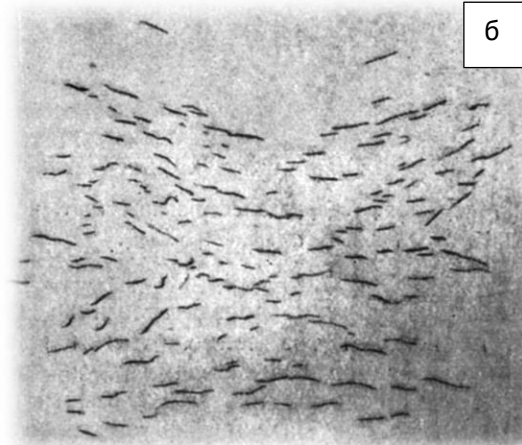
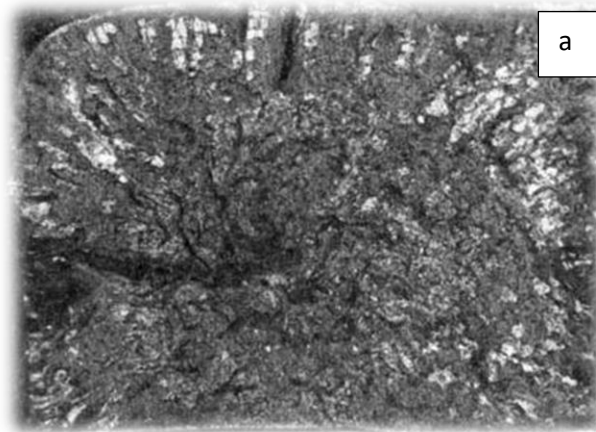


Рисунок 2 - Флокены: а) в изломе; б) выявленные травлением макрошлифов

Для выявления указанных дефектов в слитках, отливках, катаных или кованых заготовках чаще применяют макрошлифы, изготовленные в поперечных сечениях, а в сварных швах - макрошлифы, изготовленные как в поперечном, так и в продольном сечении.

Грубые дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочная рыхлость, трещины, газовые поры и др.), обычно легко обнаруживаются на макрошлифах без обработки их поверхности специальными реактивами, то есть без травления. Более мелкие дефекты выявляются глубоким или поверхностным травлением.

Глубокое травление применяется главным образом для макроанализа слитков и проката. В качестве реактива для конструкционных сталей чаще всего используется 50 %-й водный раствор соляной кислоты. Травление производится при 60-80 °С в течение 15-30 мин. После травления макрошлифы промывают водой, нейтрализуют 10-15 %-м раствором кальцинированной соды и сушат.

Реактивы глубокого травления действуют неодинаково на отдельные участки металла. На участках с более развитой и активной поверхностью (поры, раковины, трещины), а также не однородных по составу и структуре вследствие ликвации, макрошлифы имеют избирательно протравленную поверхность (обычно более темную). Кроме того, отдельные участки металла могут иметь значительные остаточные напряжения. Глубокое травление позволяет выявлять и эти опасные (с низкими механическими свойствами) зоны. Однородные объемы с меньшим содержанием углерода и вредных примесей (*P* и *S*) после травления оказываются более выступающими (менее протравленными),

поэтому травление указанными реактивами выявляет также ликвационные зоны и, кроме того, в литой стали - дендритное строение, а в катаной стали - волокна (в продольном макрошлифе).

Реактивы поверхностного травления хорошо выявляют сравнительно крупную пористость и другие дефекты, а также характер ликвации и волокнистости металла. Эти реактивы просты в обращении. Поэтому они широко используются, особенно при макроанализе деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей. Наиболее часто применяют реактив, содержащий смесь хлористого аммония $NHCl$, хлористой меди $CuCl$ и воды (реактив Гейна).

На рисунке 3 приведены фотографии макроструктуры различных темплетов стали после травления. Неоднородность в распределении примесей по сечению слитка наследуется и в процессе изготовления проката, поковок, штамповок.

Определение неоднородности строения металла -волоконности, обусловленной обработкой давлением

Формирование волокнистости связано с направленной пластической обработкой литого металла. В ряде случаев при производстве отдельных деталей машин требуется строгий контроль на волокнистость. Это связано с анизотропией свойств металла вдоль и поперек направления волокон. Прочностные и особенно пластические характеристики металла вдоль направления волокон обычно бывают значительно выше, чем поперек. Поэтому в деталях, работающих с повышенными удельными нагрузками, особенно динамическими (коленчатые валы, зубчатые колеса, клапаны двигателей и др.), необходимо, чтобы волокна следовали в направлении наибольших напряжений. Это достигается правильным выбором способаковки или штамповки заготовок и последующей механической обработки. При механической обработке волокна в нагруженных участках детали не должны перерезаться.

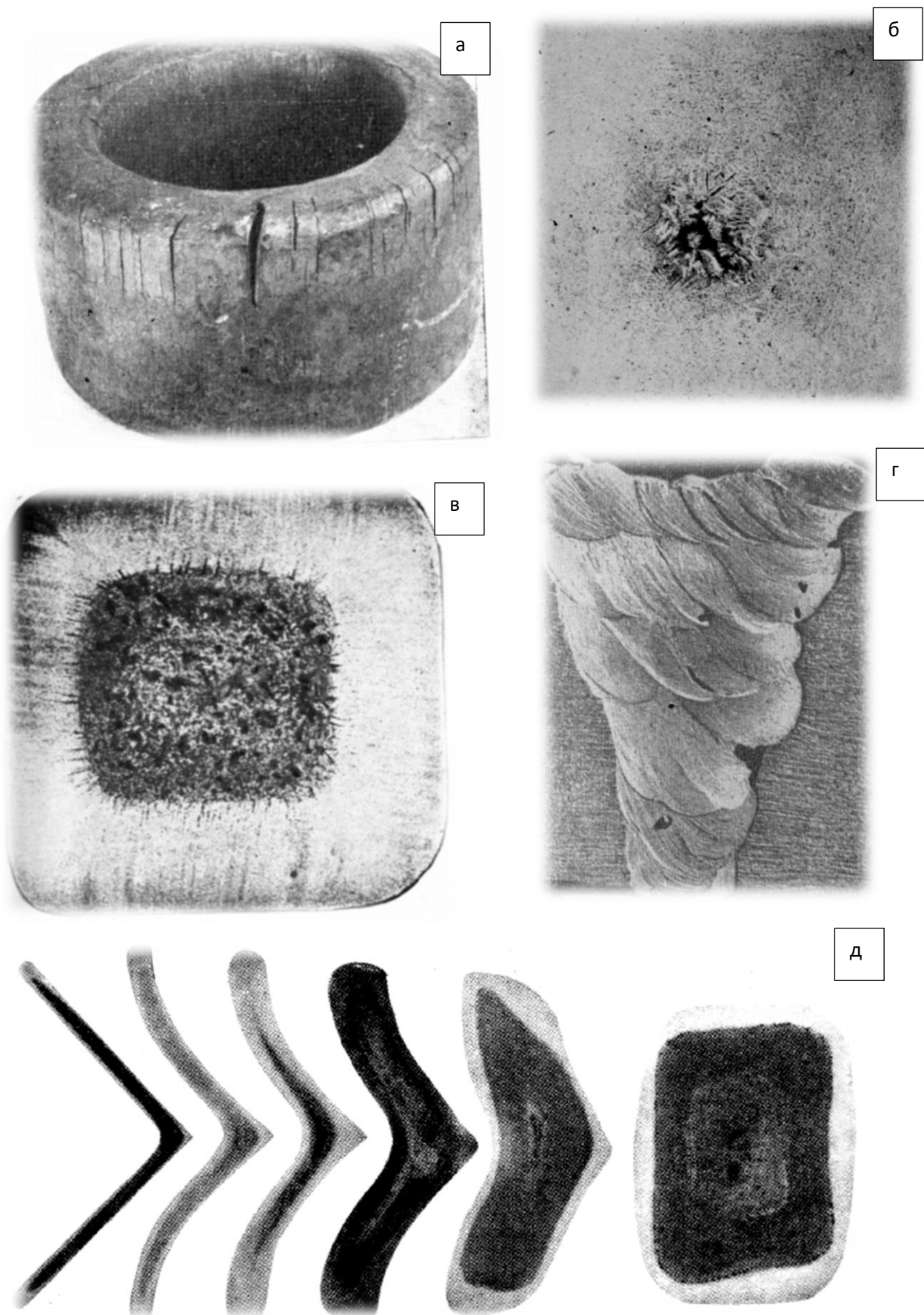


Рисунок 3 - Макростроение стали, выявленное травлением: а) трещина; б) усадочная раковина; в) ликвационный квадрат кипящей стали; г) сварной шов; д) наследование распределения серы в слитке прокатом

Волокнистость образуется при обработке металлов давлением (прокатка, ковка, штамповка и др.) в направлении пластического течения металла. Формирование волокнистости макроструктуры связано с химической неоднородностью кристаллитов.

Для выявления волокнистости обычно используются реактивы поверхностного травления. Макрошлифы при этом изготавливаются в продольном направлении. Поскольку в образовании волокнистости участвуют и сернистые включения (сульфиды), то удовлетворительные результаты получаются и при использовании метода отпечатков на фотобумаге. В последнем случае макроанализ позволяет не только выявить направление волокон после обработки давлением, но и установить «историю» (способ) изготовления изучаемой детали и определить, в частности, является ли она литой, сварной или изготовлена ковкой (штамповкой), либо резанием (рисунок 4).

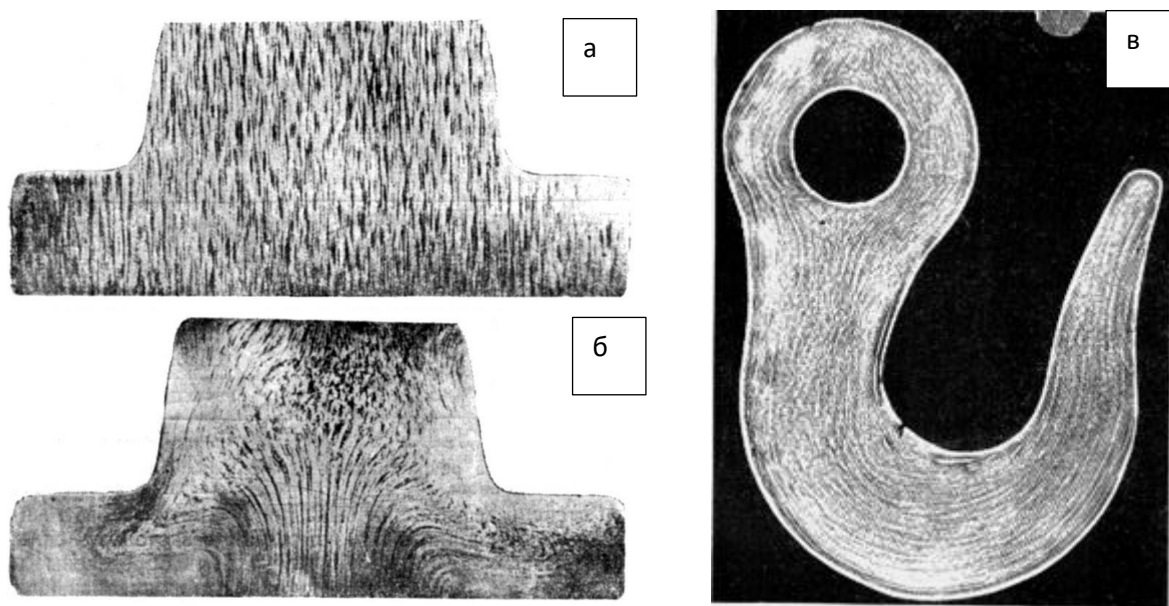


Рисунок 4 - Макроструктура заготовок деталей, изготовленных: а) обработкой резанием; б) штамповкой; в) ковкой

Неметаллические включения. К неметаллическим включениям относятся примеси, попадающие в металл в процессе его выплавки. К таким примесям относятся MgS , FeS , SiO_2 , Al_2O_3 и другие. Неметаллические включения могут быть пластичными и при деформации металла принимать

нитевидную форму, как, например MgS (сульфид марганца) (рисунок 5а), или хрупкими, которые при деформации металла разрушаются, не деформируясь, располагаются в виде цепочек, как, например, Al_2O_3 (окись алюминия) (рисунок 5б).

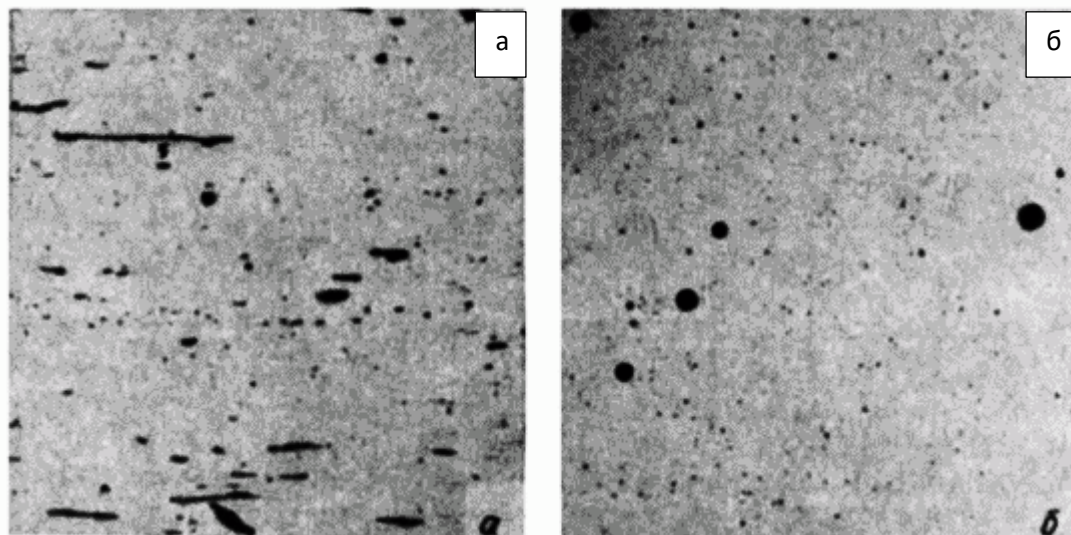


Рисунок 5 - Неметаллические включения: а — сульфиды (пластичные); б — оксиды (хрупкие)

Неметаллические включения нарушают сплошность металла. Чем острее форма включения, тем большая опасность возникновения в этих местах высоких напряжений. При значительных переменных нагрузках эти места могут явиться началом возникновения трещин усталости. Неметаллические включения часто могут быть выявлены на магнитных дефектоскопах лишь после окончательной обработки деталей.

Пористость. Пористость, уменьшая плотность металла, понижает характеристики его механических свойств (твёрдость (НВ, HRC), предел прочности (σ_B , МПа), предел текучести (σ_T , МПа), относительное удлинение (δ , %), относительное сужение (ψ , %), ударную вязкость (КС, МДж/м²).

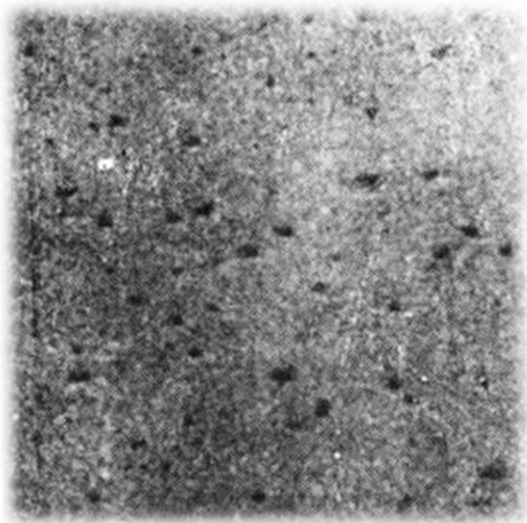


Рисунок 6 - Поры по поверхности стали

Пористость обнаруживается в виде точечных пустот, как результат наличия в стали газовых пузырей или неметаллических включений.

Газовые пузыри образуются в процессе кристаллизации металла, насыщенного различными газами (кислородом, азотом, водородом).

Газы могут равномерно распределяться по всему объёму металла, заполняя различные несплошности (так называемая рассеянная пористость), или концентрироваться в подкорковой зоне металла (рисунок 6).

Волосовины. Волосные трещины могут встречаться на поверхности прокатанного металла и по его сечению. Опасность их заключается в том, что они могут служить очагом разрушения деталей машин, особенно при работе деталей с переменными нагрузками. Главными причинами образования таких волосовин-трещин являются газовые пузыри и неметаллические включения. При деформации металла они вытягиваются в тонкие, волосные капилляры (рисунок 7).

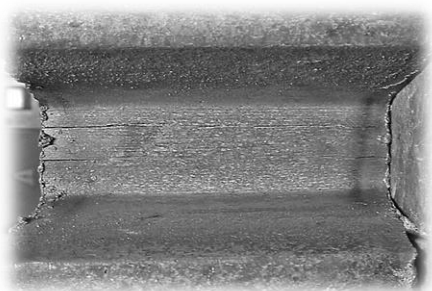


Рисунок 7 – Волосовины в стали

Если газовые пузыри располагаются под поверхностным слоем металла (подкорковые газовые пузыри), то волосовины могут выйти на поверхность металла и обнаруживаются невооруженным глазом. Также

поверхностные волосовины удаляются, как правило, на металлургических заводах путём шлифовки поверхности наждачными кругами, вырубкой пневматическими зубилами или другими способами. Внутренние волосовины, расположенные на различной глубине по сечению металла, являются причиной брака деталей после больших затрат на их механическую обработку.

Химическая неоднородность (ликвация). Ликвация (химическая неоднородность) может быть зональной или дендритной.

Зональная ликвация является следствием неравномерного распределения химических элементов по сечению слитка или проката. Склонны к ликвации сера, фосфор и углерод.

Дендритная ликвация происходит в пределах отдельных кристалликов как результат равной растворимости того или иного элемента в твёрдой фазе. Дендрит имеет древовидное строение (в виде ёлочки), при котором отчетливо видны оси дендритов и междендритное пространство. При определении хим. состава и твёрдости «осей» дендритов и межосных пространств может быть обнаружена значительная разница в их величинах.

Химическая неоднородность - ликвация ухудшает механические свойства сплавов, делает их неоднородными.

3. Отчет

По имеющимся в лаборатории экспонатам изучить, описать и зарисовать:

1. Записать задачи (цели) лабораторной работы
2. Записать теоретические сведения (дефекты, описание, рисунки)
3. Описать полученную деталь (что это, применение), зарисовать, записать размеры
4. Описать видимые невооруженным глазом (при увеличении лупы), определить вид, зарисовать
5. Оформить отчет, все рисунки выполняются карандашом, чётко, с необходимыми пояснениями. Написать выводы по работе.
6. Защитить работу

5. Контрольные вопросы

1. Что называется макроскопическим анализом?
2. Что называется макроструктурой?
3. Какие дефекты металла можно выявить макроанализом?
4. Какие вы знаете способы макроанализа?
5. Что называется ликвацией?
6. Как определяется общая ликвация серы, фосфора, углерода?
7. Как выявляется распределение серы по сечению детали?
8. В каком виде сера присутствует в стали? В чем ее вред?
9. О чем говорит наличие волокнистости на макрошлифе?
10. Что можно установить по виду излома? Какие виды излома вы знаете?
11. Какие бывают характерные разрушения изделий?
12. Какое строение имеют слитки спокойной и кипящей стали?
13. Назовите примеры макродефектов прокатанных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение. 1990. – 528 с.
2. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов: учеб. для студентов машиностр. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюшин; под ред. Г.П. Фетисова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. 862 с.
3. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
4. Металлография железа. Т. III. Структура сталей / под ред. Ф. Н. Тавадзе. – М. : Металлургия, 1972. – 236 с.
5. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов и др.; – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ 2005. 648 с.