

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

**МАКРОАНАЛИЗ СТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ
РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методическое указание к лабораторной работе

Бишкек – 2011

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Технологии машиностроения»
Протокол № 4 от 25.11.2011г.

«Одобрено»
Методическим советом
ФТиМ
Протокол № от

Составитель САПРЫКИН Ю.В.

Макроанализ строения и особенностей разрушения конструкционных материалов. Методическое указание к лабораторной работе / КГТУ им. И.Раззакова; сост. Ю.В.Сапрыкин. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 12 с.

Рецензенты: проф. Омуралиев У.К.,
доц. Жумалиев Ж.М.

МАКРОАНАЛИЗ СТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

1. Изучить сущность и назначение макроанализа.
2. Овладеть методикой качественно-количественного макроанализа строения конструкционных материалов и их изломов.

Материальное обеспечение:

1. Стенд с объектами макроанализа.
2. Коллекция образцов из металлических сплавов с визуально-наблюдаемыми на их поверхности дефектами, нарушающими сплошность материала (газовые пузыри, трещины, пористость и т.д.)
3. Коллекция вязких, хрупких, смешанных (вязко-хрупких) изломов.
4. Заготовки для приготовления макрошлифов.
5. Набор наждачной бумаги различных номеров.
6. Химически протравленные макрошлифы после травления из металлических материалов в литом, деформированном и закаленном состоянии.

Краткие теоретические сведения.

К числу прямых методов изучения структуры конструкционных материалов относится **макроанализ** – исследование структуры невооруженным глазом (визуально) по виду изломов или шлифованных и протравленных поверхностей образцов (макрошлифов). Изучаемая при этом

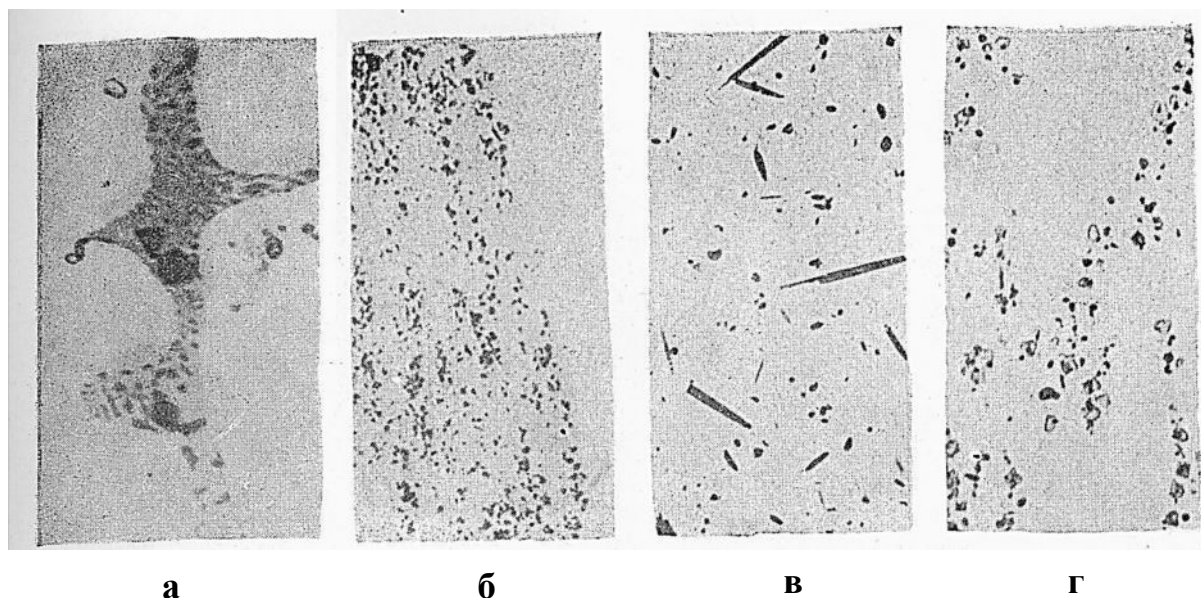


Рис.1 Неметаллические включения в стали: а – включения FeS; б – включения хрупкой окиси Al (Al_2O_3); в – включения нитрида Al (AlN); г – включения нитрида Ti (TiN).

структура является макроструктурой (от греческого makros – большой).

Назначение макроанализа.

Объектами исследования при макроанализе могут быть непосредственно поверхности изделий, шлифованные поверхности образцов, вырезанных из определенных участков деталей, или поверхности их разрушения.

Макроанализ поверхности слитка, отливки, поковки, сварного соединения и т.д. позволяет выявить разного рода несплошности – усадочные раковины, газовые пузыри, поры, неметаллические включения и трещины, имеющие макроскопические размеры и выходящие на поверхность детали (образца).

Макроанализ шлиф позволяет определить глубину закаленного и

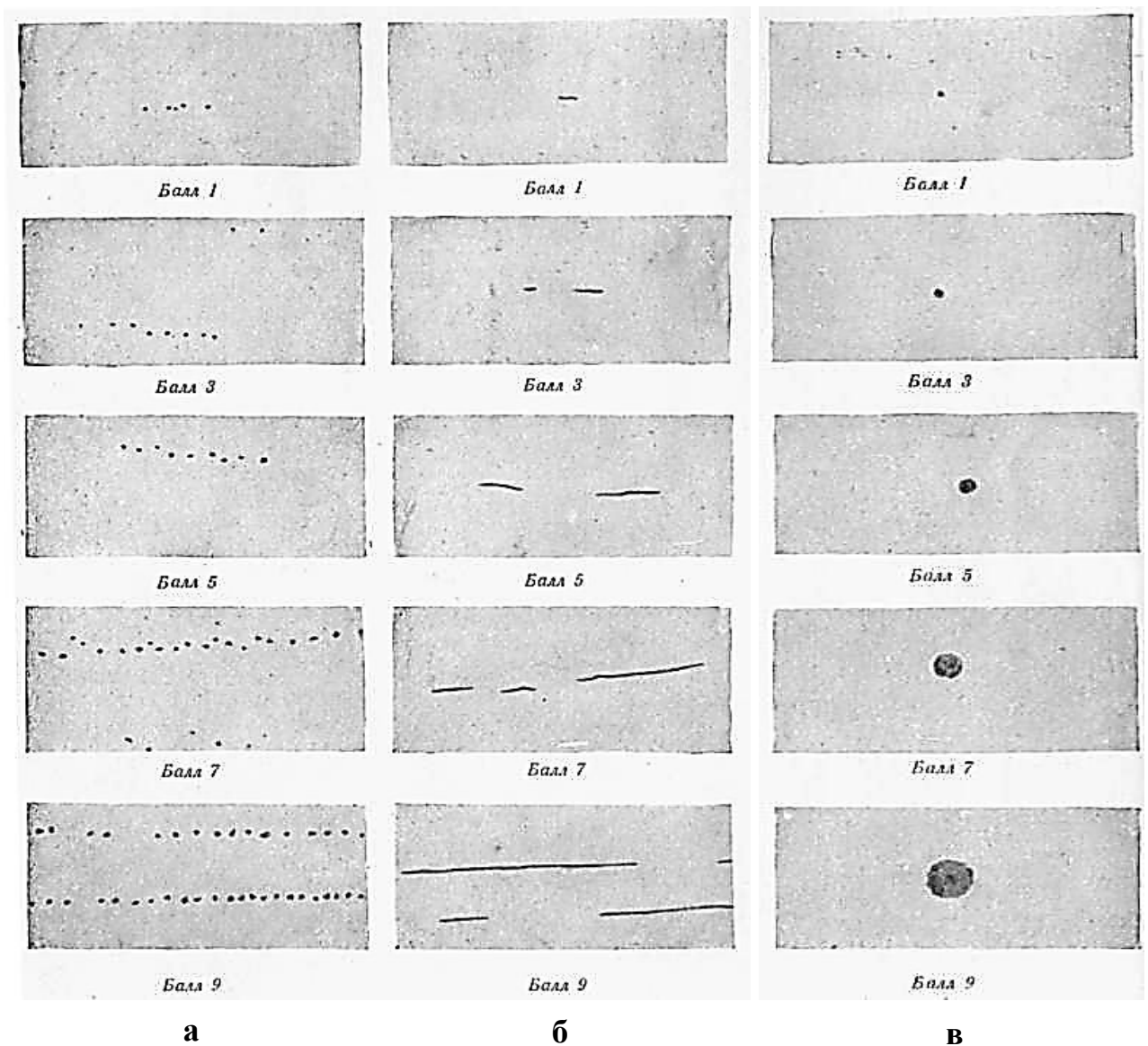


Рис.2 Эталоны неметаллических включений: а – окислы; б – сульфиды; в – глобулярные включения.

цементированного слоя, обнаружить химическую неоднородность сплава

(ликвидацию), а так же выявить макротрещины,газовые пузыри, поры и прочие дефекты в случае их залегания на некоторой глубине под поверхностью образца.

Макроанализизломов позволяет установить вид разрушения (хрупкое, вязкое, вязко-хрупкое, усталостное), выявить причины поломки детали (перегрузки, охрупчивание, низкое качество металла и т.д.). Макроанализ поверхностей вязко-хрупких изломов позволяет оценить склонность материала к охрупчиванию при данной температуре и способе нагружения, а получаемые при этом результаты способствуют решению такого важного практического вопроса, как повышение надежности работы материалов в конкретных условиях их эксплуатации.Макроанализ усталостных изломов позволяет, в первом приближении, получить информацию о причинах преждевременного (аварийного) разрушения детали.

I. Макроанализ шлифов

2.1. Приготовление макрошлифов

Макрошлифом считается выбранная для исследования плоская поверхность части детали (образца), которую после разрезки шлифуют.

При шлифовании пользуются шлифовальной бумагой с постепенно уменьшающимся размером зерна последовательно: К3100, К3180, К3220, К3240, К3280, К3320, К3М20 и К3М14.

Бумагу кладут на плоскую чугунную плиту или толстое шлифованное стекло размером не меньше листа шлифовальной бумаги. При изготовлении большого количества шлифов шлифование можно производить на станках, при этом бумагу наклеивают на горизонтальные металлические диски диаметром 250-300мм, вращаемые электродвигателем с числом оборотов 600-700 в минуту.

При шлифовании необходимо обращать особое внимание на то, чтобы

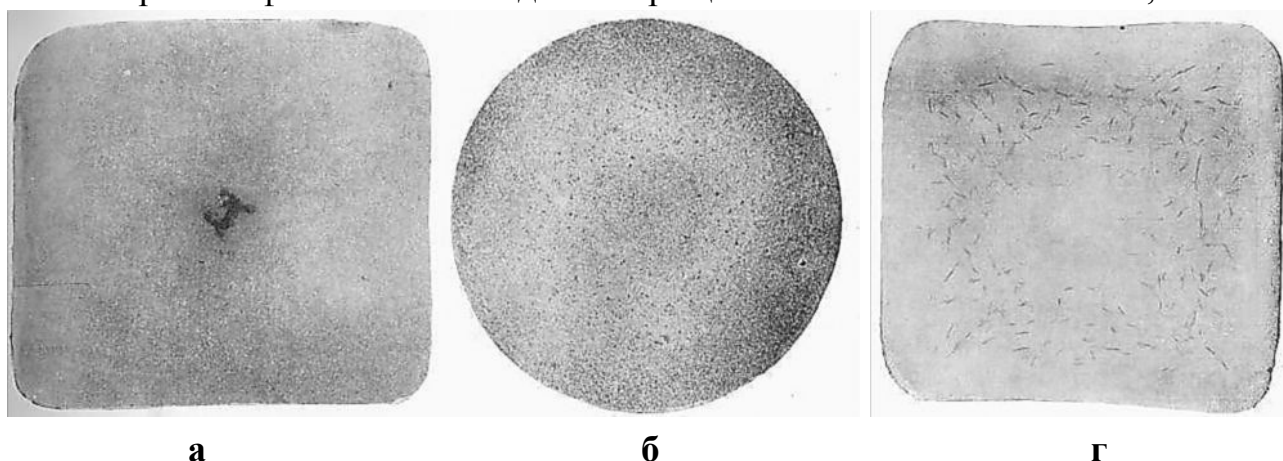


Рис.3Пороки макроструктуры стали: остатки усадочной раковины (а), общая пористость (б) и флокены (в).

нажим на образец был плавным и вся его поверхность полностью соприкасалась с бумагой. Плоскость шлифа должна быть ровной, без

закругленных (заваленных) краев. Зерна абразива одного номера бумаги ни в коем случае не должны попадать на бумагу другого номера.

На шлифовальной бумаге образец следует шлифовать в направлении, перпендикулярном к штрихам, оставшимся после обработки напильником или абразивным кругом, до полного исчезновения этих штрихов. Затем на бумаге следующего номера образец шлифуют в направлении, перпендикулярном к предыдущему, также до уничтожения прежних штрихов и т.д. Штрихи от последней наиболее мелкозернистой бумаги, например КЗМ14, уничтожают окончательным шлифованием на бывшей долгое время в употреблении бумаге КЗМ14.

2.2. Исследование макрошлифов с помощью химического травления

Для выявления крупных дефектов, рис.1 (макротрещины, газовые пузыри, раковины поры, сульфидные и нитридные включения), выходящих на поверхность, макрошлиф подвергают поверхностному (неглубокому) травлению с применением соответствующего реактива (чаще всего реактива Гейна: NH_4Cl – 53г и CuCl_2 – 85г на 1000мл воды; $t=20^\circ\text{C}$ $\tau = 0,5 - 1$ мин). При погружении макрошлифа в реактив дефектные места разъедаются и приобретают более темную окраску, что способствует их выявлению.

Для выявления мелких дефектов, расположенных на некоторой глубине от поверхности макрошлифа (рис.3), нарушающих сплошность

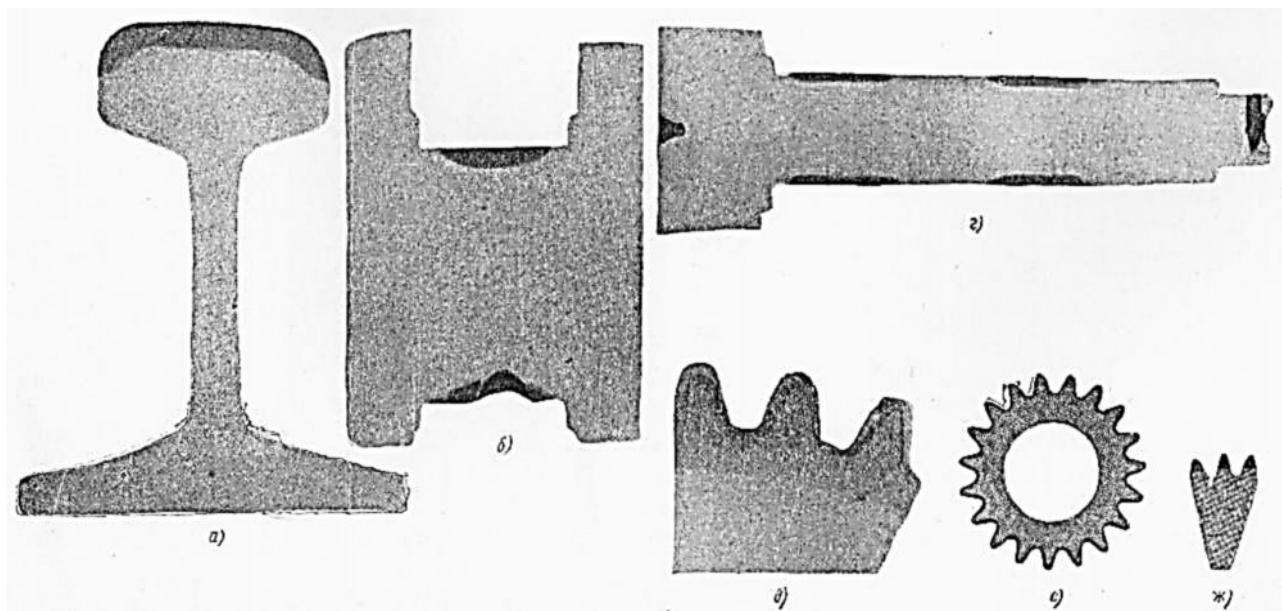


Рис.4 Макроструктура стали после высококачественной закалки: а – рельс; б – шейка коленчатого вала; г – тормозной кулак; д – шестерня из стали с малой прокаливаемостью, закаленная в простом индукторе; е – крупная шестерня, закаленная по обводу фасонным индуктором; ж – шестерня, закаленная простым индуктором.

материала, применяют реактивы глубокого травления (например, 50% HCl в воде; $t=60 - 70^\circ\text{C}$, $\tau=15-40$ мин).

Для выявления неоднородности состава и структуры материала в результате термической или химико-термической обработки, а также для обнаружения глубины закаленного слоя (рис.4) макрошлиф подвергают химическому травлению 50-процентным раствором HCL в воде в течении 3-5 минут при температуре 70-80°C. В процессе такой обработки часть поверхностей шлифа, где расположена зона, подвергшаяся закалке, приобретает более темную окраску.

Для выявления толщины поверхностного слоя детали, подвергшегося науглероживанию в процессе цементации, макрошлиф обрабатывают реактивом следующего состава: 2г CuCL₂ H₂O и 1мл HCL на 100 мл этилового спирта. При этом науглерожженный поверхностный слой не изменяется, нецементованная сердцевина окрашивается красным налетом меди.

II. Макроанализ изломов.

Излом образца (детали) следует рассматривать как поверхность, по которой распространилась разрушившая материал трещина. В ряде случаев

уже при визуальном осмотре излома детали, то есть при макроанализе, можно установить не только качество структуры и ее сопротивляемость разрушению, но и вид разрушения, а так же характер развития трещины (стабильное, ускоренное, очень быстрое) и ориентировочно оценить трещиностойкость (вязкость разрушения) исследуемого материала.

Предположим, что перед нами поставлена задача разобраться в причине систематических поломок конкретной детали. Первым шагом на пути к решению этой задачи является визуальный осмотр поверхности излома детали с целью установления вида разрушения (хрупкое, вязкое, вязко-хрупкое).

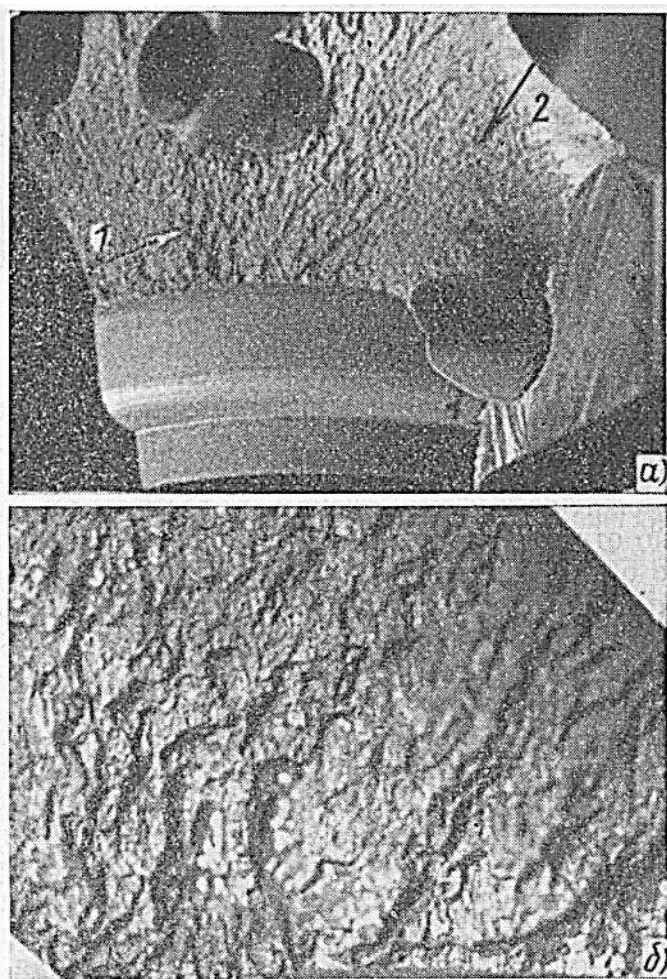


Рис.5 Поверхности вязких изломов.

Матовый, волокнистый излом (рис.5) освидетельствует о **вязком разрушении**, при котором материал, обладая достаточной пластичностью, хорошо сопротивляется развитию в нем трещин. Следовательно, деталь разрушается не из-за охрупчивания материала, а, например, вследствие больших перегрузок или из-за наличия в материале крупных неметаллических включений и т.п.

Блестящий вид и кристаллическое строение излома (рис.6) свидетельствует о **хрупком разрушении**, при котором материал из-за потери пластичности (например, вследствие чрезмерного его упрочнения или за счет снижения температуры) плохо сопротивляется распространению в нем трещины. Хрупкое разрушение происходит с большой скоростью (скорость распространения хрупкой трещины составляет примерно 0,4 от скорости распространения звука в металле) и представляет наибольшую опасность. В данном случае материал абсолютно ненадежен в эксплуатации и для того,

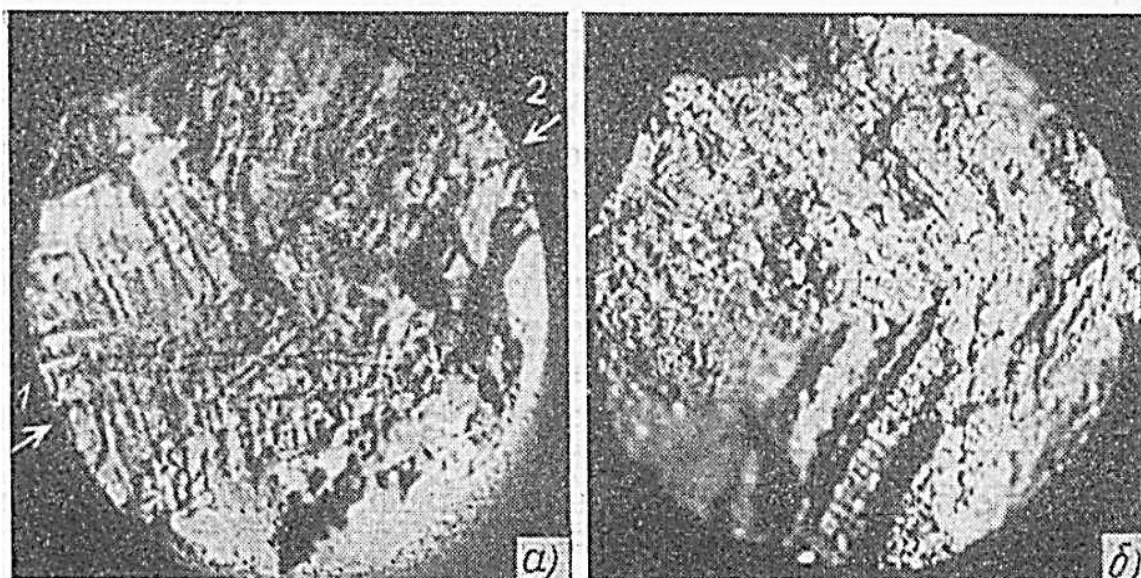


Рис.6 Поверхности хрупких изломов.

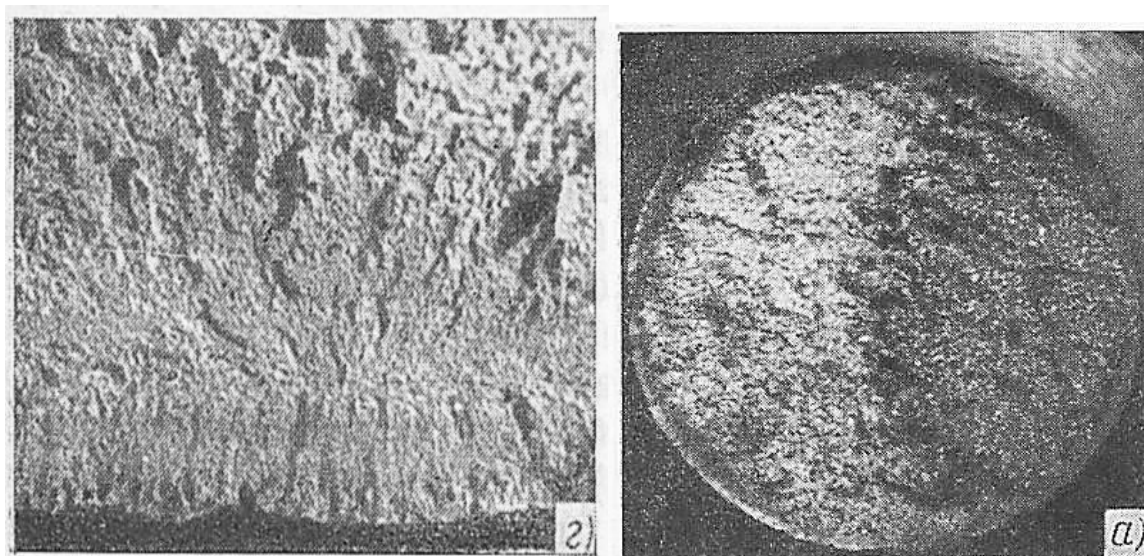


Рис.7 Поверхности смешанного (вязкохрупкого)излома.

чтобы предотвратить в дальнейшем хрупкое разрушение детали, следует рекомендовать замену материала или изменение его структуры на более пластичную при данных температурно-силовых условиях нагружения.

Довольно часто приходится иметь дело с изломами, на поверхностях которых присутствуют участки, характерные и для хрупкого и для вязкого разрушения (рис.7). В этом случае разрушение классифицируют как смешанное (вязкохрупкое).

Вязко-хрупкое разрушение особенно характерно для высокопрочных металлических материалов, в которых распространение трещины на закритической стадии (там, где формируется хрупкий участок излома) происходит, как правило, с очень большой скоростью и не сопровождается заметной, макропластической деформацией. Надо критической стадии

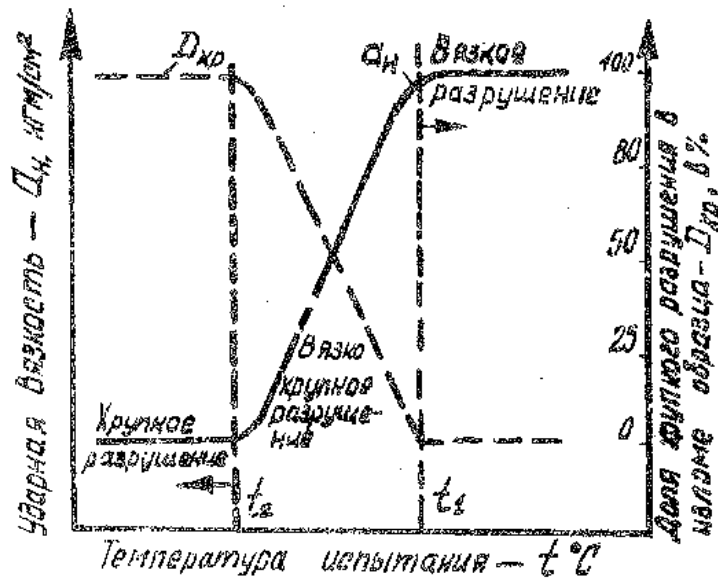


Рис.8 Зависимость ударной вязкости и доли хрупкого разрушения на изломах стальных образцов от температуры испытания (схема).

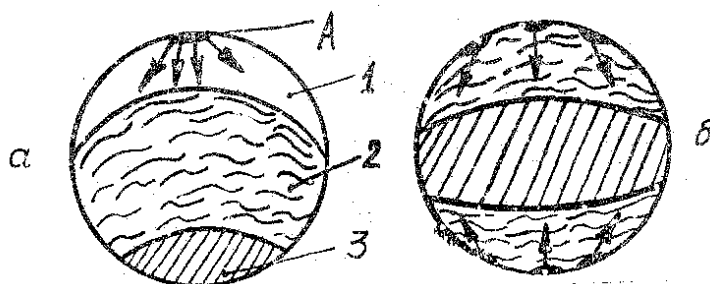


Рис.9 Макроскопическое строение поверхности усталостных изломов цилиндрических образцов (деталей), полученных при низких (а) и высоких (б) напряжениях в условиях кругового изгиба: А — очаг разрушения; 1 — зона стабильного и длительного роста трещины; 2 — зона ускоренного роста трещины; 3 — зона долома.

разрушения таких материалов рост трещины обычно замедлен из-за существенной пластической деформации и на этой стадии формируется вязкий (более темный) участок излома.

Результаты макроанализа вязко-хрупких изломов позволяют устанавливать критические длины трещин и судить о склонности исследуемого материала к хрупкому разрушению при заданных температурно-силовых условиях нагружения, например по соотношению площадей зон (участков) вязкого и хрупкого разрушения на поверхности излома.

Зависимость ударной вязкости (удельной работы, затрачиваемой на разрушение единицы площади поперечного сечения образца при ударе) от относительной площади участка вязкого разрушения на

поверхности излома схематично представлена на рис 8, где показано, что чем больше относительная площадь участка вязкого разрушения на изломе, тем выше уровень прочности материала при ударных нагрузках и наоборот.

Большинство деталей машин и элементов металлических конструкций в процессе работы подвержены циклическим нагрузкам, то есть нагрузкам, периодически воздействующим на деталь. При таком, циклическом способе нагружения, материал детали разупрочняется при гораздо меньших нагрузках, чем при статическом нагружении, например, растяжением. Когда мы пытаемся разделить проволоку на две части, то ее не растягиваем, а многократно периодически изгибаем. При этом сравнительно легко добиваемся успеха – усталостного разрушения.

Чем с большим усилием изгибаем проволоку, тем быстрее, то есть за меньшее число циклов нагружения, удастся ее поломать. А усталостный излом проволоки, его макрорельеф, все в большей степени соответствует картине разрушения, схематично показанной на рис.9.б. Приложив к проволоке (образцу, детали) небольшое усилие (нагрузку), придется затратить соответственно и большее время на разрушение, изменится в данном случае и макрорельеф усталостного излома (рис.9.а).

Таким образом, макростроение усталостного излома зависит от уровня нагрузки и длительности работы образца (детали).

Поэтому, если подвергнутый макроанализу усталостный излом окажется подобным тому, который схематично изображен на рис.9.б, то

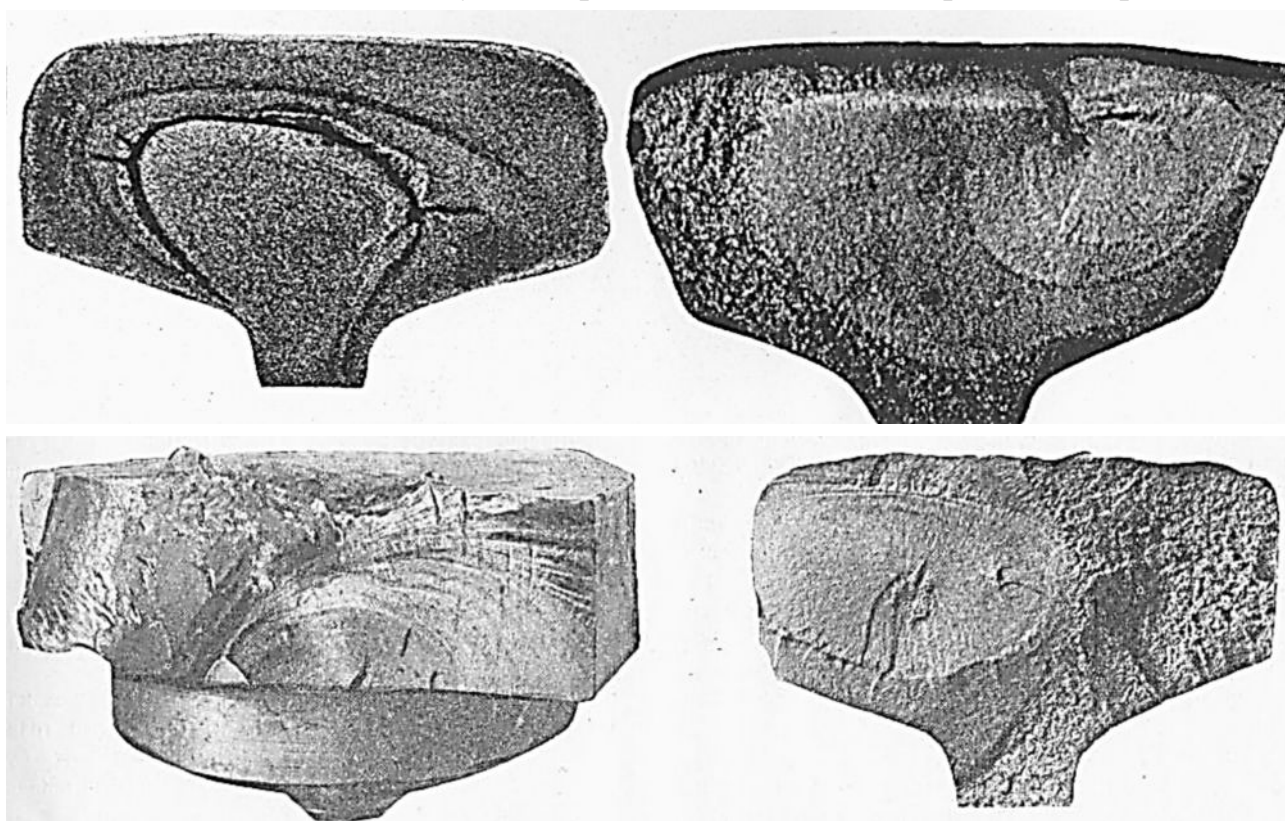


Рис.10 Усталостные изломы сложных по форме изделий вследствие пороков макро- и микроструктуры стали.

можно сделать заключение о преждевременном разрушении детали вследствие большой перегрузки.

На практике строение усталостных изломов сложных по форме деталей машин и элементов инженерных конструкций может существенно отличаться от усталостного излома цилиндрической детали типа вала (рис.10).

Задание

В данной работе студенты знакомятся с объектами макроанализа; овладевают методикой приготовления макрошлифов; выявляют дефекты, нарушающие сплошность материала; исследуют глубину закаленного слоя в образце (детали). При макроанализе изломов устанавливают вид разрушения и проводят расчет площадей зон, занятых вязким и хрупким разрушением на поверхностях смешанных (вязко-хрупких) изломов; по результатам этого расчета делают заключение о склонности исследуемого материала (структуры) к хрупкому разрушению при заданных температурных и силовых условиях нагружения.

Порядок выполнения работы

1. Изучаются объекты макроанализа, представленные на стенде.
2. С использованием коллекции изломов, полученных при статическом и ударном нагружении, исследуются поверхности вязкого, хрупкого, смешанного (вязко-хрупкого) и усталостного разрушения металлических материалов; производится расчет площадей зон вязкого и хрупкого разрушения на поверхностях смешанных (вязко-хрупких) изломов и делается заключение о степени охрупчивания материала при заданных температурно-силовых условиях нагружения.
3. Приготавливаются макрошлифы на заданных поверхностях заготовок (темплетов).
4. Выявляются особенности макростроения материала в литом и деформированном состоянии; зарисовываются и описываются обнаруженные макродефекты: усадочные раковины, газовые пузыри, пористость, трещины, неметаллические включения.
5. Оценивается глубина закаленного и цементированного слоя в образце.

Содержание письменного отчета

Название и цель работы.

Рисунки объектов макроанализа, в т.ч. и рисунки с условным изображением поверхностей вязких, хрупких, смешанных (вязко-хрупких) и усталостных изломов.

Краткое описание объектов макроанализа и методик исследования.

Контрольные вопросы

1. Что называется макроанализом и каково его назначение?
2. Что называют макрошлифом?
3. Как готовят макрошлифы?
4. Какая информация может быть получена при макроанализе поверхности изделия, излома, макрошлифа?
5. Какие существуют виды разрушения и какова связь вида разрушения со строением излома, выявляемым при макроанализе?
6. Как по виду излома выявить склонность материала к хрупкому разрушению?
7. Как определить глубину закаленного и цементованного слоя в детали при макроанализе?

Литература

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Гуляев А.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986.
3. Сапрыкин Ю.В. Материаловедение. КГТУ. – Б.: ИЦ «Текник», 2009.

Приложение
Типичные дефекта макростроения конструкционных материалов.

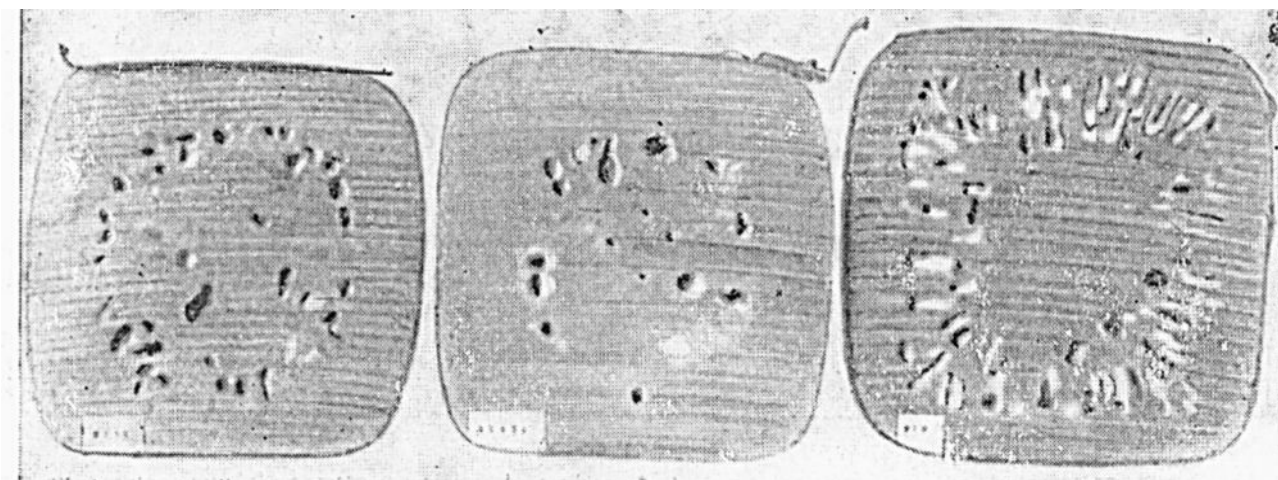


Рис.1 Контуры раковин на поперечных разрезах головной, средней и донной частей слитка кипящей стали.

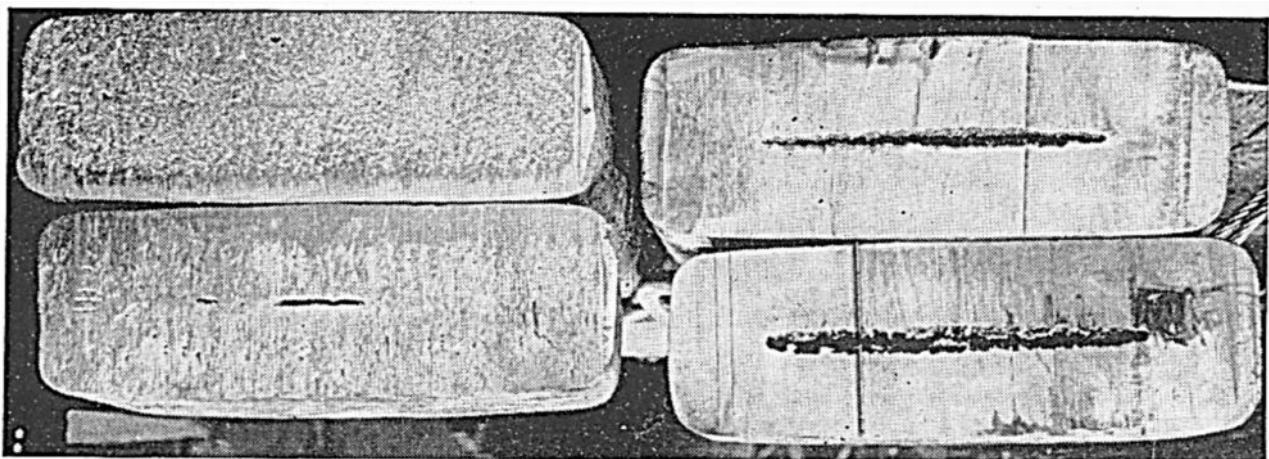


Рис.2 Развитие усадочной раковины в слябах (поперечное сечение).



Рис.3 Раскатанный подкорковый пузырь (поперечное сечение).

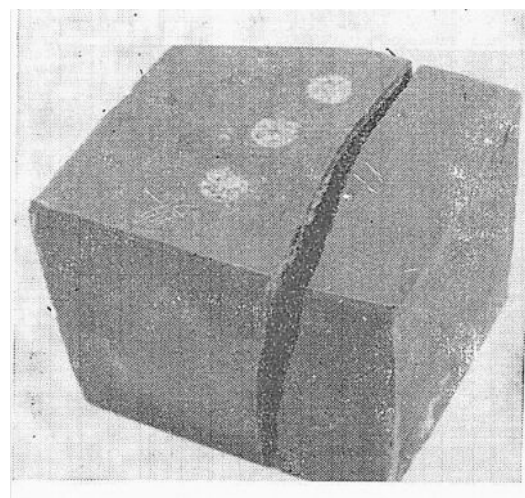


Рис.4 Сквозная трещина, возникшая вследствие остаточных напряжений.

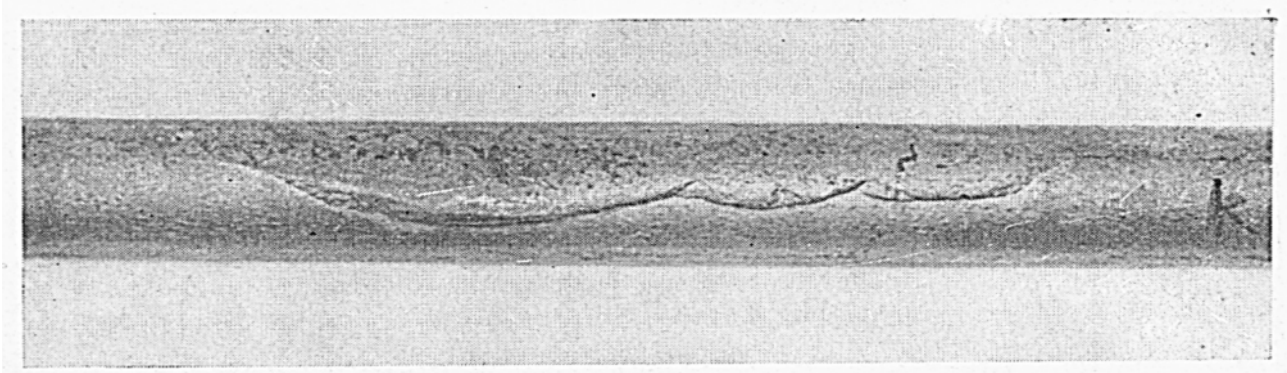


Рис.5 Выступы (отпечатки) на поверхности прутка.

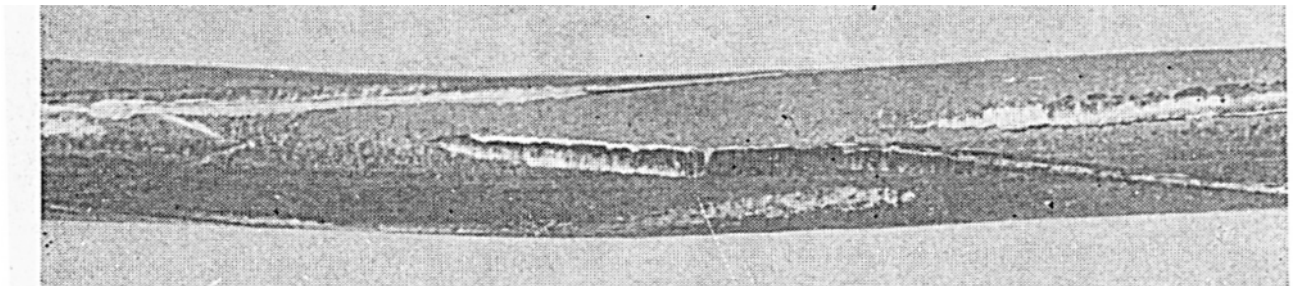


Рис.6 Пруток с повреждением поверхности, полученным при плавке.

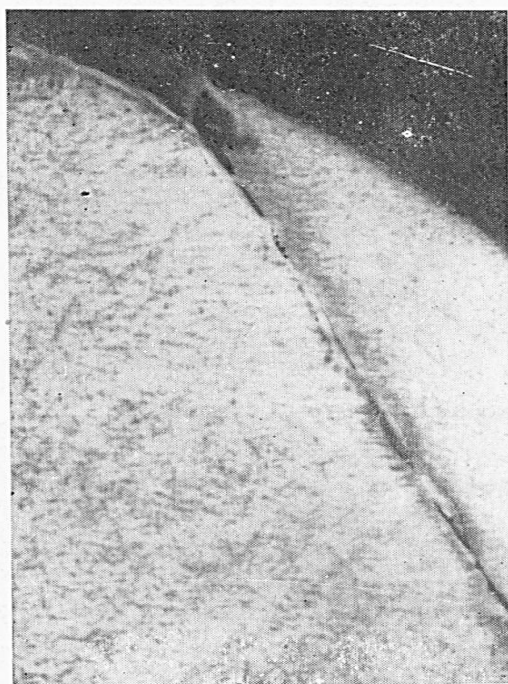


Рис.7 Трещина при ковке прутка. Поперечный шлиф.

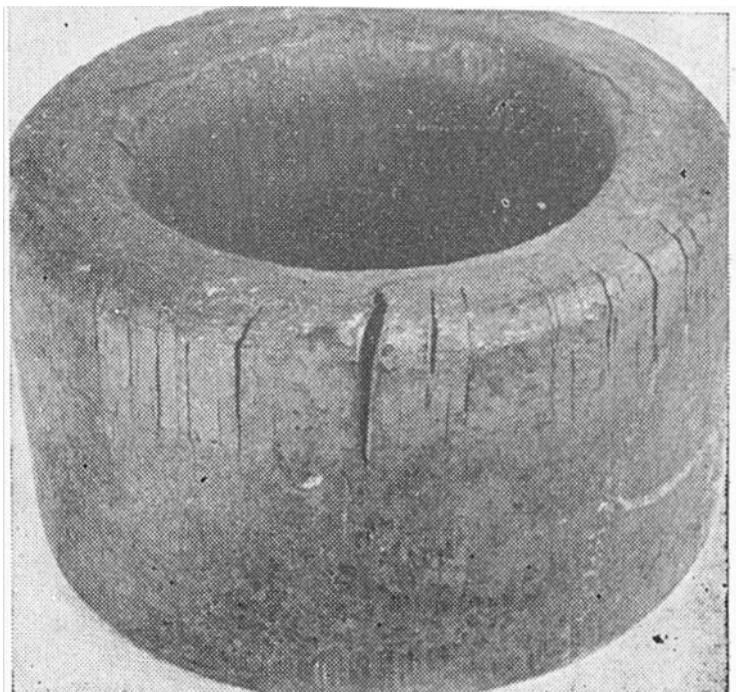


Рис.8 Трещины, обусловленные сотовыми (подкорковыми) пузырями.



Рис.9 Канавки на поверхности трубы.

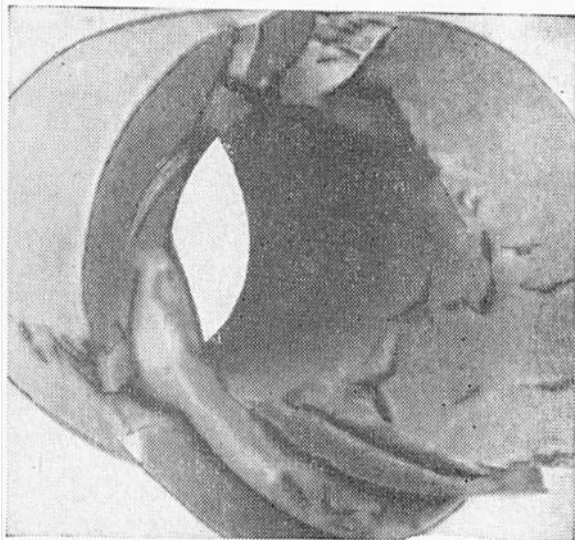


Рис.10 Разрушенная трубная заготовка из высоколегированной стали X8CrNiTi18.10.

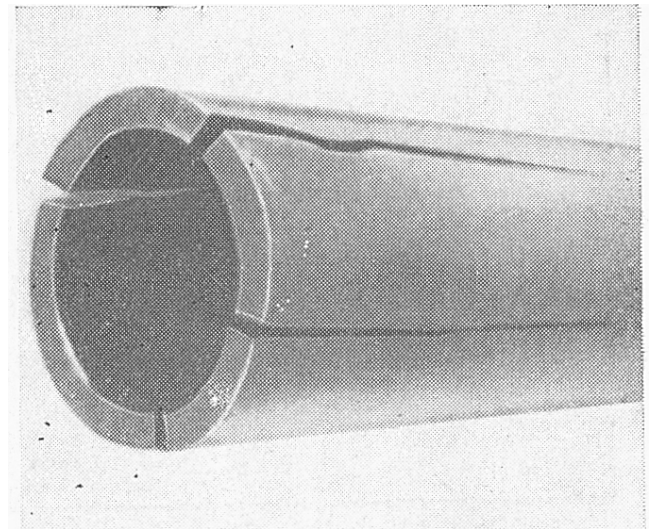


Рис.11 Трещины от остаточных напряжений в трубе из подшипниковой стали.

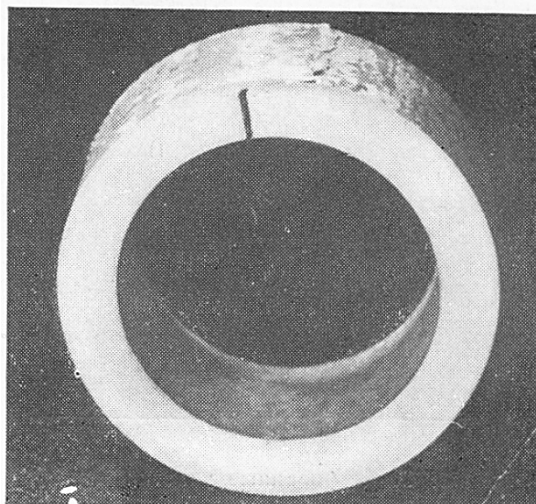


Рис.12 Закал на трубе, полученной пилигримовой прокаткой (поперечное сечение).

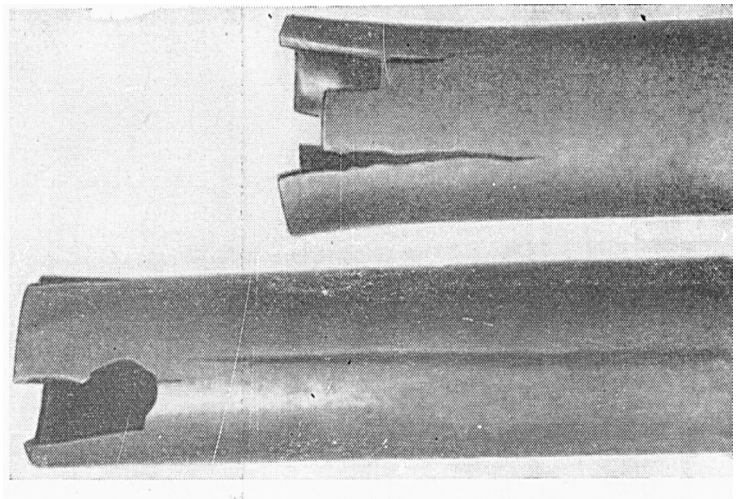


Рис.13 Концы трубы из подшипниковой стали, разрушенные в продольном направлении вследствие сильного различия в структуре, образовавшегося из-за неправильно проведенного отжига (высокие напряжения).

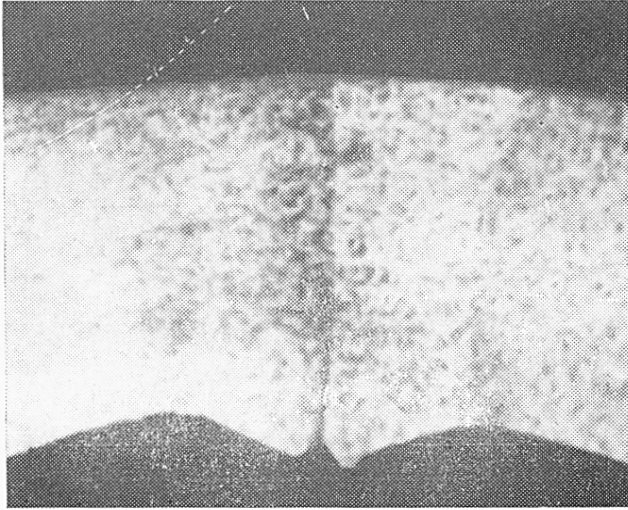


Рис.14Сварной шов с непроваром.

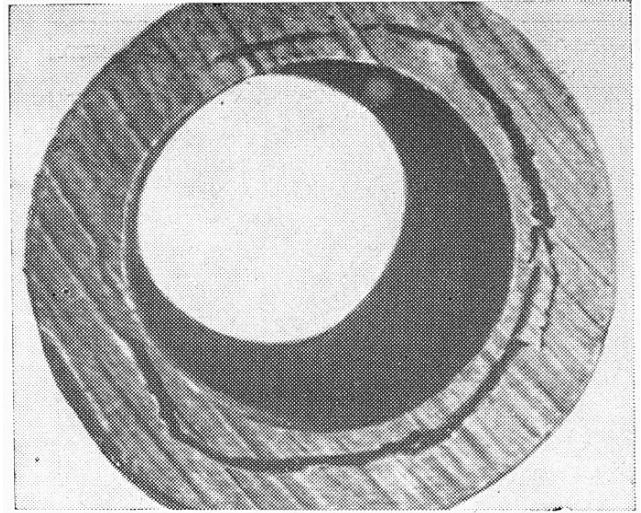


Рис.15Расслоение в трубной заготовке из подшипниковой стали 100Cr6 как следствие слишком высокой температуры при прошивке.

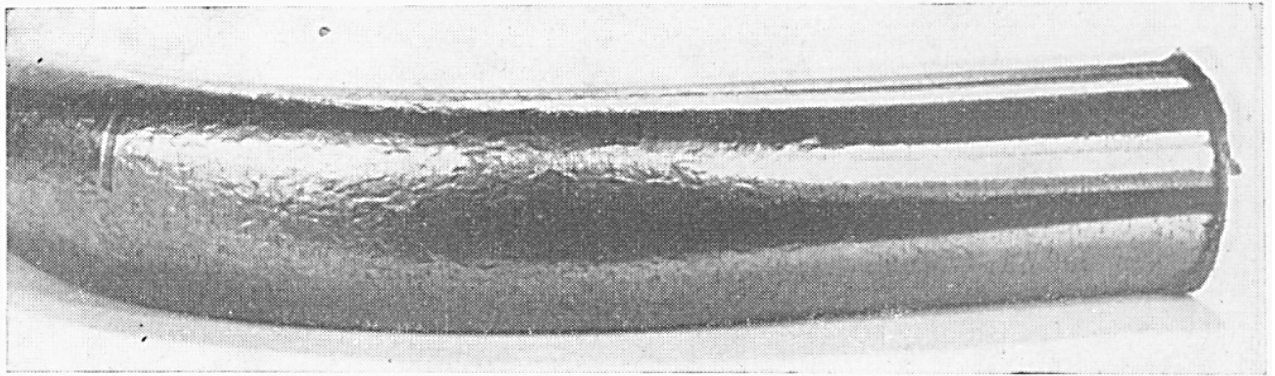


Рис.16Шероховатая поверхность («апельсиновая корка») стальной трубы вследствие неправильного проведения нормализации (крупное зерно).