

**Методы макро- и микроанализа.
Характерные макро- и микродефекты стали
на основных этапах производства металлоизделий.**

Макроанализ является предварительным видом исследования и позволяет определить виды изломов, нарушение сплошности металла, неоднородности. Микроанализ позволяет оценить формы и размеры отдельных фаз, зерен, включения инородных фаз и микропустоты и их расположение.

Макростроение можно изучать не только **на поверхности металла** (отливки, заготовки или детали после механической обработки), но и на поверхности разрушения (**изломы**), а также на специально подготовленных поверхностях металла (**макрошлифы**). Если макрошлиф изготовлен в поперечном сечении слитка или заготовки, то его называют темплетом. Строение металла, выявленное таким способом, невооруженным глазом или при небольших увеличениях – до 30 раз называется макроструктурой.

При макроанализе одновременно изучается сравнительно большая поверхность и получается информация об общем строении металл, о наличии в нем различных дефектов. Шлиф изготавливают в сечении, где наиболее четко выявляются особенности макростроения. При исследовании слитка необходимо изучить продольный и поперечный разрезы. Макроструктуру прокатанных изделий исследуют в поперечном направлении, а структуру поковок – в поперечном и продольном.

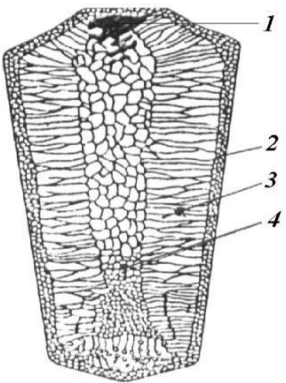
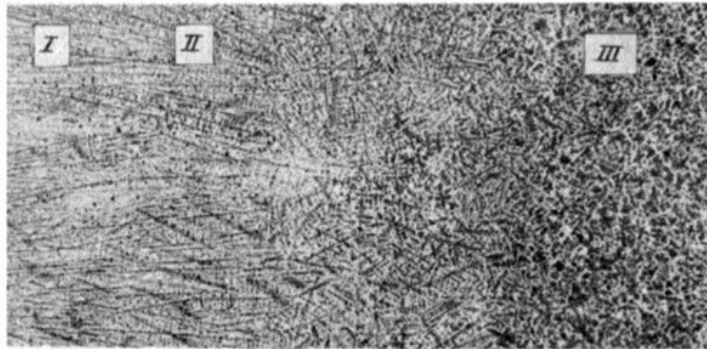
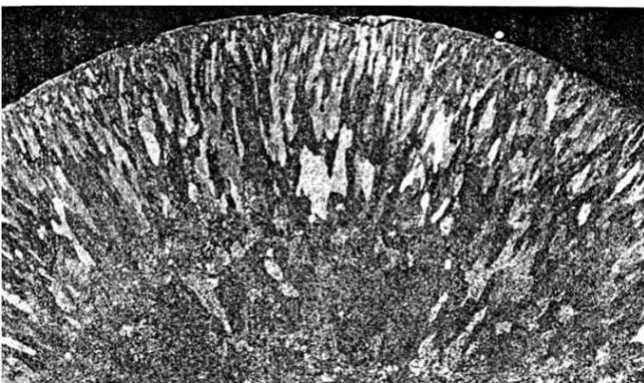
С помощью макроанализа можно выявить:


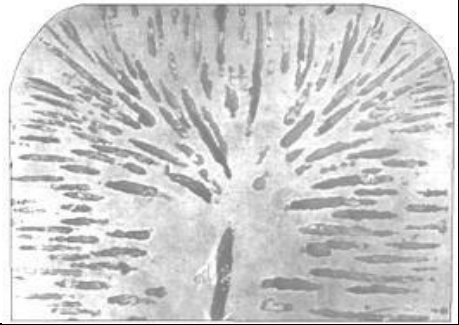
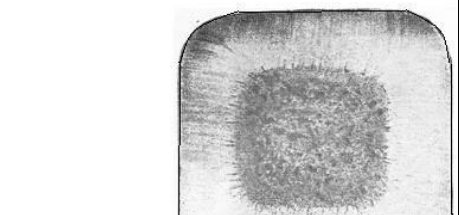
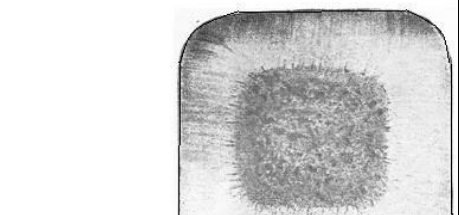
- нарушение сплошности металла, то есть усадочную рыхлость, газовые пузыри, пустоты, трещины;
- химическую неоднородность в распределении некоторых элементов, например ликвацию серы и фосфора;
- неоднородность строения сплава после горячей обработки давлением, например, фигуры течения металла, полосчатость и др.;
- макростроение сварного шва: число слоев шва, зону термического влияния, наличие пор, трещин, непровара и наличие других дефектов;
- вид излома, по которому можно установить характер разрушения образца или детали.


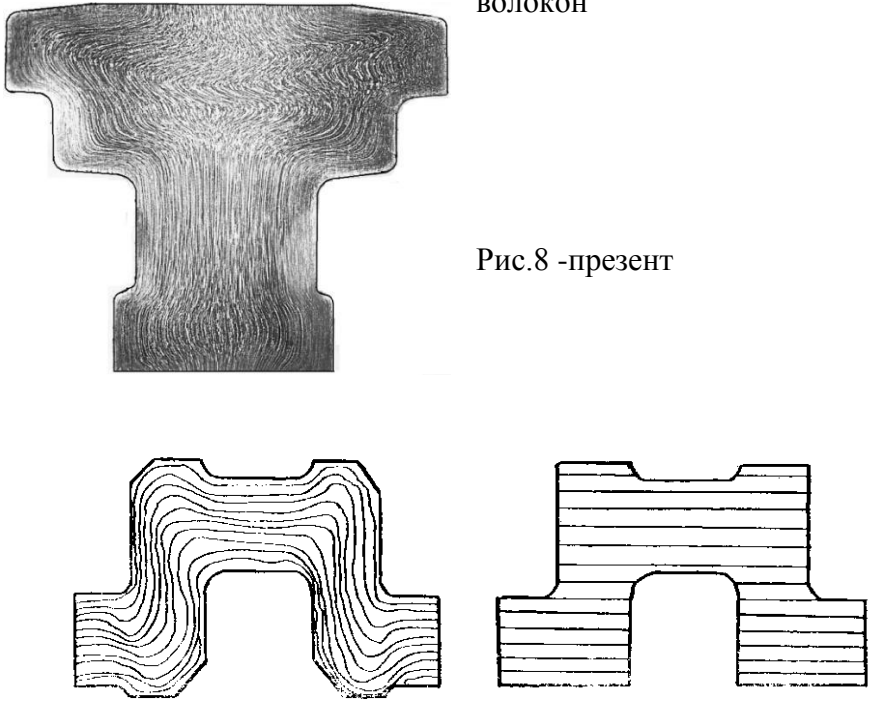
Макроисследование чаще всего проводят на образце с предварительно подготовленной поверхностью- макрошлифе.

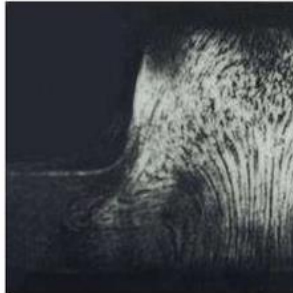
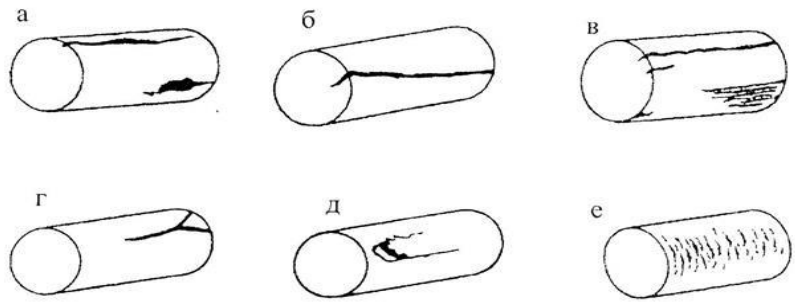
Характерные макродефекты стали на основных этапах производства металлоизделий.

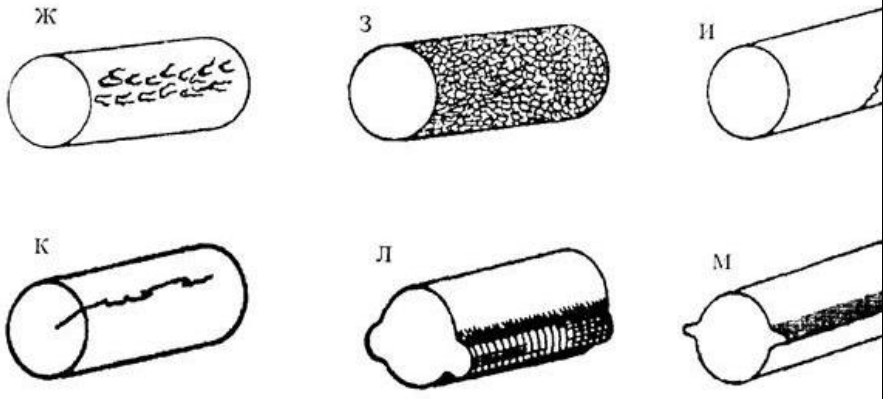
Наименование макрошлифа	Краткое описание макроструктуры, макродефекта
Макроструктура литого металла	
Макрошлиф слитка спокойной стали	Спокойная сталь раскисляется марганцем, кремнием и алюминием. На продольном темплете слитка спокойной стали видны три зоны: мелкозернистая корка, столбчатые кристаллы, равноосные зерна. К дефектам спокойной стали относятся усадочная раковина, неметаллические включения, газовые пузыри, ликвация, трещины

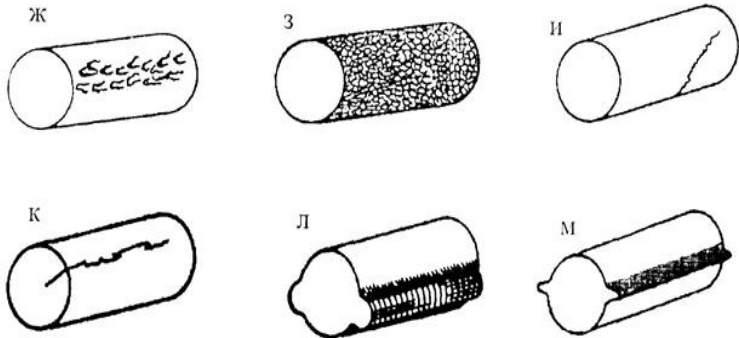
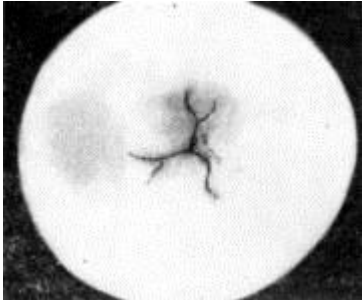
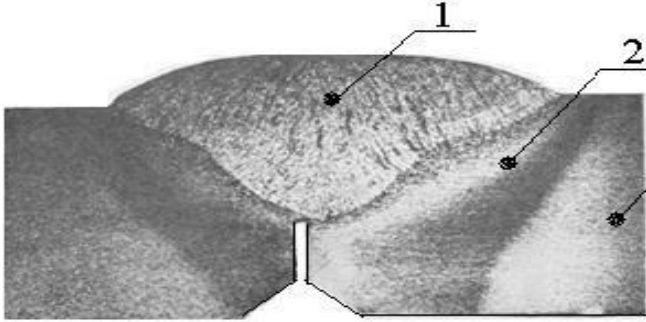
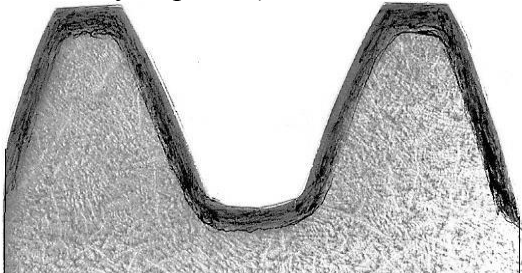
<p>Поперечное сечение слитка</p>	<p>(Рис.1-презент.):</p>  <p>1- усадочная раковина; 2- мелкозернистая корка; 3 - зона столбчатых кристаллов; 4 - зона равноосных зерен</p> <p>(Рис.2-презент.):</p>  <p>I- мелкозернистая корка; II-зона столбчатых кристаллов</p>
<p>Монокристалл Чернова</p>	<p>в; III-зона равноосных зерен</p> <p>Рис.3-презент. Дендритное строение</p> 
<p>Газовые раковины в слитке.</p> <p>Усадочные раковины</p>	<p>Рис.4-презент. Дендрит с вытянутой осью 1 –го порядка.</p> <p>Образуются за счет плохого качества металла, чаще всего имеют малые размеры и разбросаны по всей массе отливки. Газовые раковины, образовавшиеся за счёт дефектов формы и неправильной технологии заливки, концентрируются чаще всего</p>

	<p>на отдельных определенных участках формы и находятся на небольшой глубине от поверхности отливки или стержня.</p> <p>Имеют вид углублений и пустот неправильной формы, образующихся в тех местах отливки, где металл затвердевает в последнюю очередь. Иногда вместо концентрированных усадочных раковин наблюдается местная рыхлость и пористость, вследствие которой отливки не выдерживают давления при гидравлическом испытании и бракуются.</p>	
<p>Темплет кипящей стали</p>	<p>Кипящая сталь раскисляется только Mn и отличается низким содержанием C 0,23% и Si 0,05%. В слитке этой стали содержатся большие газовые (сотовые) пузыри, которые образуются вследствие реакции восстановления железа углеродом $FeO + C = Fe + CO$.</p> <p>Рис.5-презент.</p>	
<p>Ликвация</p>	<p>Ликвация подразделяется на зональную и дендритную. Зональная ликвация характеризует неоднородность химического состава по объему слитка, дендритная - по объему дендритов. Ликвация видна в виде скопления темных неметаллических включений - сульфидов.</p> <p>Рис.6-презент.</p>	
<p>Неметаллические включения</p>	<p>Примеси, не растворимые в расплавленном металле и присутствующие в нем в виде посторонних, довольно малых включений; попадают в металл из внешних источников (шлак, огнеупоры) – <i>экзогенные включения</i>, или образуются при его раскислении в процессе плавки и окислении при разливке (оксиды, нитриды, сульфиды) – <i>эндогенные включения</i>. При анализе макроструктуры отдельные неметаллические включения не выявляются. Об их наличии судят по зонам повышенной травимости на поверхности макрошлифа.</p>	

<p>Отливка со сплошной зоной кристаллизации</p>	<p>Зона столбчатых кристаллов распространяется по всему сечению до взаимного их соприкосновения. Такая макроструктура является дефектной из-за ее высокой хрупкости.</p>  <p>Рис.7-презент.</p>
<p>Макроструктура деформированного металла</p>	
<p>Макрошлиф деформированного металла</p>	<p>Волокнистость— структурный признак деформированного металла образуется в результате вытягивания при деформации примесей и неметаллических включений, расположенных по границам зерен.</p> <p>Волокнистость приводит к анизотропии механических свойств металла - к их изменению в зависимости от направления волокон</p>  <p>Рис.8 -презент</p> <p>Рис.9 -презент.</p>

<p>Волокнистое строение металла</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Рис.10-презент. презент. Горячий прокат и обработка горячая резанием -волокна «не параллельны» конфигурации изделия</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Рис.11 - Горячий прокат и штамповка –волокна «параллельны» конфигурации .</p> </div> </div>
<p>Макрошлиф деформированного металла <i>а-Раскатанное</i> <i>Загрязнение –</i> Рис.12 -презент</p>	<p>Дефекты поверхности прокатанного металла регламентированы ГОСТ 20847-75 «Прутки, полосы и профили горячекатаные и кованые из сталей и сплавов. Дефекты поверхности».</p> <p>Вытянутое вдоль направления деформации загрязнение слитка шлаком или огнеупорами. На микрошлифах по месту дефекта видны грубые неметаллические включения, обезуглероживания нет.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
<p><i>б-Раскатанный пузырь</i> Рис.12 -презент</p>	<p>Прямолинейное нарушение сплошности поверхности вдоль направления деформации. Образуется из наружного или подповерхностного пузыря слитка. Часто дефект имеет групповое расположение, его полость заполнена окалиной. Стенки полости обезуглерожены, зона обезуглероживания резко ограничена и насыщена мелкими оксидами. Полость дефекта расположена примерно под прямым углом к поверхности.</p>
<p><i>в,г-Раскатанная трещина</i> Рис.12 –презент</p>	<p>Дефект вытянут вдоль направления деформации и заполнен окалиной, его стенки обезуглерожены. Может наблюдаться разветвление дефекта (у горячей трещины). Аналогичный дефект образуется из трещин напряжения (холодные трещины) .</p>
<p><i>д-Раскатанная корочка</i></p>	<p>Местное отслоение металла, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корочек или брызг на поверхности слитка. На микрошлифах в зоне дефекта наблюдается обезуглероживание и скопление неметаллических включений сложного состава, шлака и огнеупоров. Дефект может иметь</p>

	небольшой наклон к поверхности или идти почти параллельно ей.
<i>е- Рванины</i>	<p>Раскрытые разрывы, расположенные поперек или под углом к направлению наибольшей вытяжки при деформации. Образуются вследствие пониженной пластичности металла при деформации. В разрывах может быть окалина, а зоны у стенок дефекта могут быть насыщены оксидами и нитридами.</p>
<p><i>ж- Прокатанная плена</i> Рис.13 –презент</p>	<p>Отслоение металла языкообразной формы, соединенное с основным металлом одной стороной, образовавшееся вследствие раскатки рванины или следов глубокой зачистки местных дефектов поверхности. Нижняя поверхность отслоения и металл под ним покрыты окалиной. На микрошлифе в зоне, прилегающей к дефекту, может наблюдаться обезуглероживание.</p> 
<i>з- Чешуйчатость</i> (Рис.13 презент.)	Отслоения и разрывы в виде сетки, образовавшиеся при деформации металла вследствие пониженной пластичности или существенного перегрева металла. Разрывы проходят по границам зерен и сопровождаются оксидами и эвтектическими фазами.
<i>и,к-Трещина напряжения</i> (Рис.13 презент.)	Прямолинейный или зигзагообразный разрыв, идущий вглубь металла под прямым углом к поверхности. Образуется вследствие объемных изменений, обусловленных структурными превращениями или термическими деформациями. На микрошлифе трещина напряжения проходит по границам зерен, имеет тонкий конец и не окислена, если обнаружена на изделии, не подвергавшемся повторному нагреву. В случаях, когда окисление и обезуглероживание наблюдаются, данный дефект не был обнаружен при соответствующих контролях.
<i>л, м-Ус</i> (Рис.13 презент.)	Продольный выступ с одной или двух диаметрально противоположных сторон, образующийся вследствие неправильной подачи металла в калибр, переполнение калибра или неправильной настройки валков.

	
<p>Прокатанная сталь с осевыми трещинами</p>	<p>Усадочная рыхлость слитка при пластической деформации может привести к образованию осевых трещин, особенно у легированных сталей, отличающихся пониженной теплопроводностью.</p> <p>(Рис.14 презент.)</p> 
<p>Макрошлиф сварного шва (Рис.15 презент.)</p>	<p>Зоны:</p> <p>1— наплавленный металл (видно дендритное строение);</p> <p>2— зона термического влияния;</p> <p>3— основной металл</p> 
<p>Макрошлиф после химико-термической обработки (Рис.16 презент.)</p>	<p>Видна по контуру детали темная полоска упрочненного химико-термической обработкой слоя (цементацией - диффузионным насыщением поверхности изделия углеродом). Можно оценить качество упрочненного слоя по размеру его толщины и степени однородности по контуру детали.</p> 

Таким образом, с помощью макроанализа можно определить способ производства изделия (литье, обработка давлением, сварка), а также характер термической и химико-термической обработки (глубину цементации и др.).

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (МИКРОАНАЛИЗ) МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ И ЕГО МЕТОДЫ.

Микроскопический анализ - исследование внутреннего строения металлов и сплавов с помощью оптических или электронных микроскопов при увеличениях от 100 до 1000 и более раз. Методом микроскопического анализа изучают структуру и фазовый состав сплава, форму и размеры кристаллических зерен, выявляют микродефекты (крупнозернистость, неметаллические включения и др.), невидимые невооруженным глазом. Наблюдаемая структура называется микроструктурой. В зависимости от требуемого увеличения для четкого наблюдения всех присутствующих фаз, их количества, формы и распределения, т. е. структуры в целом, в микроскопах используют:

– белый свет и обычные оптические системы, являющиеся комбинацией стеклянных линз и призм (оптическая микроскопия);

– поток электронов для создания оптических систем, для которых необходимо применять электромагнитные или электростатические линзы (электронная микроскопия).
Применение оптических или электронных микроскопов требует разных способов подготовки объектов для наблюдений и различных методов расшифровки наблюдаемых изображений. Микроскопическим анализом можно обнаружить частицы размером 10–5 см, электронной микроскопией – 10–5...10–7 см, рентгеноструктурным анализом 10–8 см.

С помощью оптического микроскопа исследуется специально подготовленная поверхность металлического образца, называемая *микрошлифом*.

Приготовление микрошлифа.

Вырезка образца и получение плоской поверхности. Выбирается та поверхность, на которой надо приготовить микрошлиф. После вырезки образца выбранную поверхность доводят до приблизительно плоской вручную (напильником) или на вращающемся наждачном круге.

Шлифование вырезанной поверхности образца. Поверхность образца шлифуют наждачной бумагой или специальной алмазной пастой, нанесенной на чистую плотную бумагу. При шлифовании последовательно переходят от одной шкурки (пасты) к другой с непрерывно уменьшающимися размерами абразивных частиц. Образец перед сменой зернистости абразива нужно поворачивать на 90°, чтобы удалить следы предыдущего шлифования.

После шлифования оставшиеся абразивные частицы удаляются тщательной промывкой водой или спиртом.

Полирование поверхности образца. Механическое полирование проводят на станках, снабженных вращающимся кругом, на который натянута фетр или сукно. Круг периодически смачивают водой со взвешенными тонкодисперсными частицами окислов хрома, железа, алюминия и др.

Полировальный диск должен быть влажным, а нажатие на образец – незначительным.

Полирование считается законченным, когда поверхность образца становится зеркальной и при рассмотрении под микроскопом выглядят светлым полем.

После полирования образец промывают (сначала водой, затем спиртом) и просушивают фильтровальной бумагой.

Изучение микроструктуры начинают с рассмотрения микрошлифа «в нетравленном виде». Под микроскопом на таком шлифе можно заметить следы неметаллических включений, а также обнаружить микропористость. После осмотра нетравленного шлифа для полного изучения структуры сплава шлиф травят.

Травление поверхности образца. Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению, т. е. действию растворов кислот, щелочей, солей. Универсальным травителем для железоуглеродистых сталей является 2...5 %-ный раствор азотной кислоты в спирте. В результате различной степени травимости отдельных

фаз и структурных составляющих сплава. Образуется рельеф поверхности, который изучают под микроскопом в свете отраженных лучей.

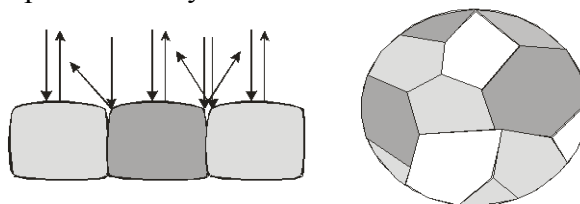


Рис.17-Презент.

Как правило, микроанализ проводят сначала при небольшом увеличении, а затем, в зависимости от строения обнаруживаемой структуры и целей исследования, при больших увеличениях, просматривая в каждом случае ряд участков шлифа.

Исследование нетравленных стальных шлифов. Выявление неметаллических включений

Нетравленные стальные шлифы изучаются с целью выявления неметаллических включений, которые всегда присутствуют в металле в результате специфики его получения. Под микроскопом шлиф наблюдается в виде светлого круга, в котором хорошо видны неметаллические включения, представляющие собой темные включения различного объема и конфигурации. По химическому составу неметаллические включения классифицируются на оксиды, сульфиды, нитриды, силикаты. Особую группу включений составляют шлаки. Оксиды, как правило, представляют собой окислы металлов FeO, MnO, Al₂O₃, но могут иметь и более сложный состав. При содержании в стали кислорода более 0,03% оксиды могут наблюдаться под микроскопом в виде зернышек. Крупные оксиды при обработке металла давлением крошатся (ввиду хрупкости) и располагаются в виде цепочек из круглых зернышек. Сульфиды являются сернистыми соединениями железа FeS и марганца MnS. Они более пластичны, чем оксиды, и деформируются при горячей обработке давлением, вследствие чего наблюдаются в виде чечевицы или в виде нитей. Силикатные включения наблюдаются в виде включений неопределенной кристаллической формы, а иногда в виде глобулей и нитей. Шлаки по своей природе представляют сложные соединения, заключающие в себе окислы как металлов (Fe, Mn, Al и др.), так и неметаллических материалов (Si, P и др.). Шлаки, как правило, наблюдаются в виде довольно крупных включений неопределенной формы, но могут походить и на другие неметаллические включения. Неметаллические включения являются серьезным дефектом стали. Они нарушают сплошность металла, понижают его прочность, а главное, являются причиной концентрации напряжений. Степень влияния неметаллических включений зависит от их количества, формы, характера распределения в объеме металла и от их природы. При контрольных испытаниях общепринятым критерием оценки стали по неметаллическим включениям является сравнение включений, наблюдаемых на шлифе, с эталонными микрофотографиями (см. Приложение из **ГОСТ 1778- Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений**), на которых показаны наиболее типичные включения различного характера и размеров. Сравнение неметаллических включений с эталонными шкалами производят при просмотре микрошлифа с увеличением 100 раз. Пример эталонных шкал по оксидам и сульфидам показан на рис.17-презент.

Исследование нетравленных стальных шлифов. Выявление микропористости

Пористость – дефект, встречающийся чаще всего в отливках и влияющий на свойства металла. Микропоры, представляющие углубления в шлифе, также обнаруживаются в виде темных участков. Отличить микропоры от включений можно практическим способом: микрометрическим винтом шлиф слегка выводят из фокуса и снова наводят на фокус; при этом края микропор вследствие различной глубины и формы в отличие от

неметаллических включений то сходятся, то расходятся. После просмотра нетравленного шлифа для более полного изучения структуры сплава шлиф травят.

Шкала неметаллических включений	баллы	оксиды		строчечные		ОС		оксиды точечные		ОТ
		а	б	а	б	а	б	а	б	
ГОСТ 1778-70	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

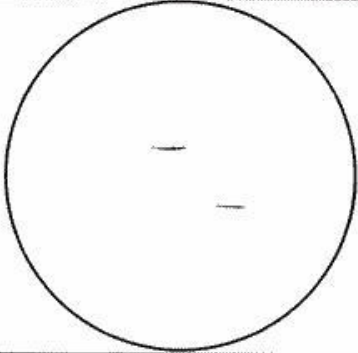
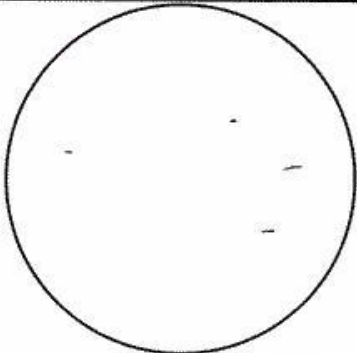
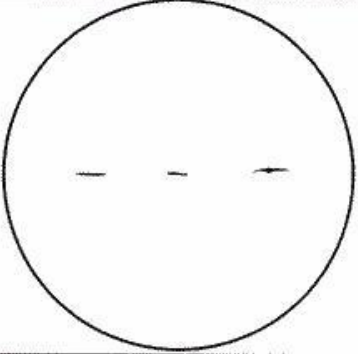
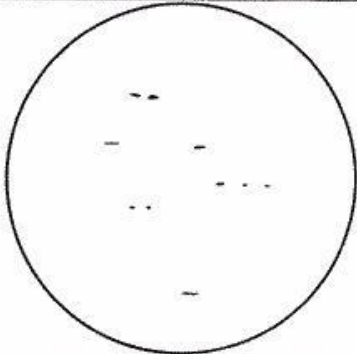
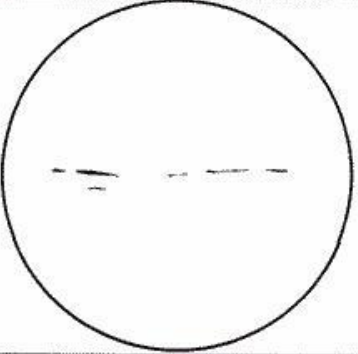
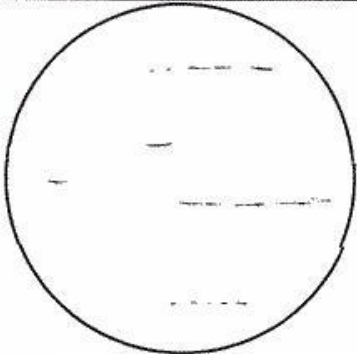
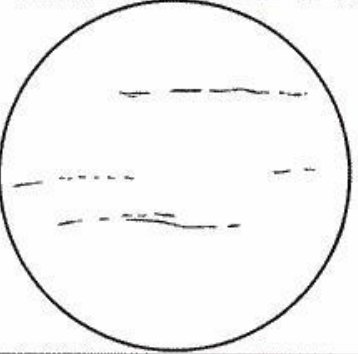
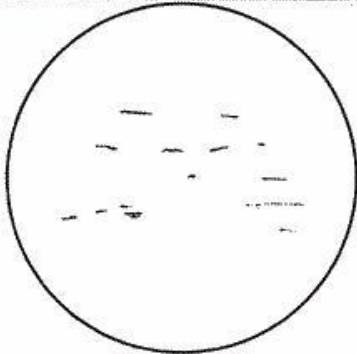
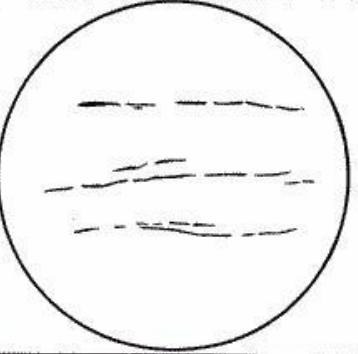
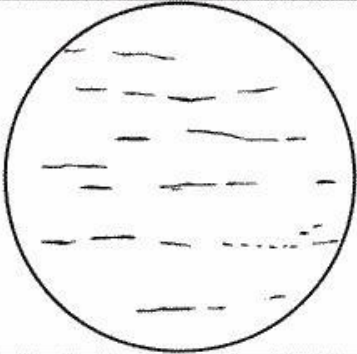
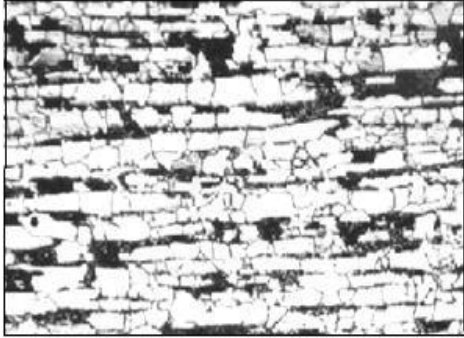
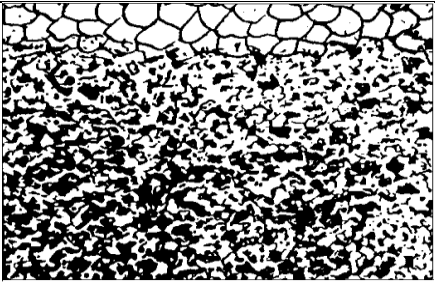
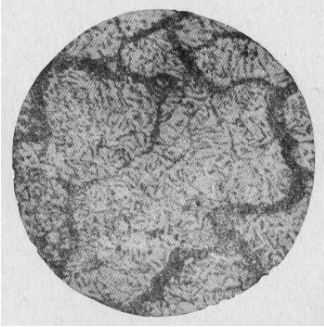
Шкала неметаллических включений ГОСТ 1778-70	баллы	С У Л Ь Ф И Д Ы С		
		а	б	
1	а		б	
2	а		б	
3	а		б	
4	а		б	
5	а		б	

Рис.18-презент.

Характерные микродефекты стали на основных этапах производства металлоизделий (после горячего деформирования).

Наименование	Краткое описание микроструктуры, микродефекта
Видманштеттова структура конструкционной стали	<p>Крупные зерна перлита, перерезанные пластинчатыми кристаллами феррита. Возникает при перегреве и ускоренном охлаждении.</p>  <p>Рис.18 –презент.</p>
Полосчатость	<p>Зерна феррита и перлита вытянуты в строчки по направлению прокатки, приводя к анизотропии свойств. Полосчатость горячекатаной стали может быть обусловлена окончанием прокатки в межкритическом интервале температур. Если доэвтектоидную сталь прокатать в межкритическом интервале температур A_{r3}— A_{r1}, то в момент окончания деформации зерна аустенита и феррита будут вытянутыми. Полосчатая структура в доэвтектоидной стали может возникнуть из-за неметаллических включений, служащих центрами зарождения избыточного феррита.</p>  <p>Рис.19.-презент.</p>
Обезуглероживание	<p>Структура стали в сердцевине изделия – перлит, а в поверхностном слое – феррит. Структура стали в сердцевине изделия – перлит, а в поверхностном слое – феррит. Длительные выдержки при высоких температурах снижают содержание углерода на поверхности стали вплоть до образования чистого феррита. К обезуглероживанию поверхности склонны практически все стали, содержащие более 0,2 % углерода. Оно распространяется на большую или меньшую глубину внутрь стали (в зависимости от температуры и продолжительности нагрева) и приводит к ухудшению свойств поверхности готовой продукции и браку.</p>

	 <p>Рис.20. - презент.</p>
Пережог	<p>Наблюдается окисление границ зерен (массивная темная сетка), что резко снижает прочность стали. Возникает когда температура нагрева приближается к температуре плавления. Пережог является неисправимым браком.</p>  <p>Рис.21. - презент.</p>

Количественная металлография.

Методы количественной металлографии необходимы для определения характеристики многих важных особенностей структуры: величины включений или зерен отдельных фаз, присутствующих в сплаве, и особенно размеров зерна основной фазы; количества включений разных фаз сплава.

Определение величины зерна

Величина зерна имеет большое значение в производстве и обработки стали. Стали с мелким зерном обладают более высокими механическими свойствами, особенно ударной вязкостью. Наблюдаемую на шлифе величину зерна при увеличении 100 раз сравнивают со стандартными фотографиями зеренных структур (шкалой балльности), приведенными в ГОСТ5639 и делают вывод о величине (балле) зерна. Преимущество метода визуальной оценки величины зерна – в скорости выполнения, однако при этом снижается точность.

Для выявления границ зерен аустенита, представляющих размеры его зерен, используют:

- 1) метод цементации применяется для низкоуглеродистых цементуемых сталей. Величина зерна определяется в заэвтектоидной зоне цементованного слоя по цементитной сетке, окаймляющей границы бывших зерен аустенита;
- 2) метод окисления применяют для конструкционных (улучшенных) и инструментальных (кроме быстрорежущих) сталей. Границы зерен выявляют по сетке окислов;
- 3) метод травления границ бывших зерен аустенита применяют для сталей, закаливаемых на мартенсит или бейнит.
- 4) метод выявления ферритной (в сталях с содержанием углерода до 0,6%) или цементитной (в заэвтектоидной стали) сетки, окаймляющей границы бывших зерен аустенита. Зерно выявляется травлением теми же реактивами, как и по методу цементации;
- 5) метод с получением сетки троостита используют для углеродистых и низколегированных сталей эвтектоидного типа.

Вследствие неравномерности реальной структуры возможна оценка величины зерна двойным баллом, например 8...9.

