



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

**Методические рекомендации
для выполнения лабораторного
практикума
по дисциплине**

«Фрактография»



Авторы
Домбровский Ю. М.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Методические рекомендации для выполнения лабораторного практикума предназначено для студентов 3-го курса очной и заочной формы обучения направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Авторы

д.т.н., профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение»
Домбровский Ю.М.



Оглавление

Введение	4
Краткие теоретические положения.....	4
Классификация и особенности строения изломов.	4
1. Вязкое и хрупкое разрушение	4
2. Фрактографический метод определения критической температуры хрупкости	6
3. Фрактография усталостных изломов	7
4. Фрактографический метод при анализе неметаллических включений	8
5. Задание на лабораторный практикум "Фрактография" и содержание отчёта.	9
Рекомендуемый библиографический список.....	9
Номера вариантов заданий к лабораторному практикуму	10

Цель практикума - ознакомление с особенностями и практическими навыками выполнения фрактографического анализа металлоизделий.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и применение новых высокопрочных металлических материалов, усложнение условий эксплуатации деталей и узлов в современных машинах, а также прогнозирование поведения материала в деталях, конструкциях требуют новых методов изучения и оценки свойств этих материалов, наиболее отвечающих эксплуатационным свойствам.

Актуальной проблемой в настоящее время является создание материалов и различных видов их обработки, обеспечивающих наряду с высокой прочностью большое сопротивление разрушению. Гарантия качества деталей определяется их надежностью и в значительной степени способностью детали противостоять развитию возникшей трещины.

Среди различных методов изучения процесса разрушения, связи состава и структуры материалов с его механической прочностью особое место отводится исследованию поверхностей разрушения (изломов) - фрактографии. Излом наиболее четко отражает строение и свойства материала в локальном объеме, в котором протекает процесс разрушения, поэтому на основании изучения макро- и микроструктуры излома после того или иного вида нагружения можно оценить сопротивление материала распространению трещины. Строение излома - набор элементов поверхности разрушения, используемых для идентификации излома и различимых при визуальном рассмотрении или при увеличении световой и электронной микроскопии.

Фрактография находит применение на различных стадиях изготовления ответственных деталей машин:

- при входном контроле - для оценки качества слитков, поковок, проката и т.д.; анализ изломов образцов после различных испытаний - неотъемлемая часть аттестации материалов при определении характеристик, обеспечивающих их надежность в эксплуатации;
- на промежуточных стадиях изготовления - для оценки качества и отработки режимов термической, химико-термической и механической обработки;
- при контроле готовой металлопродукции.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Классификация и особенности строения изломов.

(подробное ознакомление с материалом см. Учебное пособие «Фрактография» на сайте: <http://skif.donstu.ru/> - Библиотека электронных ресурсов ДГТУ - факультет «Машиностроительные технологии и оборудование» - кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»)

Различают следующие основные виды изломов: хрупкий, квазихрупкий, вязкий, усталостный.

1. Вязкое и хрупкое разрушение

В практике металловедческих исследований наиболее часто используют различия в характере излома при вязком и хрупком разрушениях. При вязком разруше-

нии стали эксплуатационная надежность максимальна. Хрупкое разрушение происходит с большой скоростью и поэтому представляет собой наибольшую опасность.

Экспериментальное изучение процесса разрушения выявило следующие отличительные признаки вязкого и хрупкого разрушений.

1. Вязкое и хрупкое разрушение можно связать с энергоемкостью при том или ином виде нагружения. Вязкому разрушению соответствуют обычно большие значения поглощенной энергии, то есть большая работа и малая скорость распространения трещины. Энергоемкость хрупкого разрушения мала, скорость распространения хрупкой трещины велика, близка к скорости звука.

2. Для поликристаллических тел, в том числе для большинства металлов и сплавов, существуют два вида разрушения - внутризеренное и межзеренное. При внутризеренном разрушении трещина распространяется по телу зерна, а при межзеренном разрушении она проходит по границам зерен. При распространении трещины по телу зерна может происходить как вязкое, так и хрупкое разрушение, межзеренное разрушение является хрупким.

3. Вязкое и хрупкое разрушения различают по кристаллографическому признаку. Вязкое разрушение обычно не связано с определенной кристаллографической плоскостью. Хрупкое внутризеренное разрушение распространяется вдоль плоскости скола внутри отдельных зерен поликристалла. Такими плоскостями необязательно бывают плоскости наиболее плотной упаковки атомов, перпендикулярно которым действуют минимальные силы сцепления. Например, скол в α -Fe и некоторых других металлах с ОЦК решеткой происходит вдоль плоскости (100), а не (110), как это должно было бы быть при минимальной затрате энергии.

4. Вязкое и хрупкое разрушения вызывают образование различных поверхностей излома. Внешний вид поверхности излома позволяет обычно судить о характере разрушения. Волокнистый, матовый излом является результатом вязкого разрушения, а кристаллический - хрупкого.

1.1. Вязкий ямочный излом

Для вязкого излома характерно ямочное строение. Ямки - микроуглубления на поверхности разрушения, представляющие собой вскрытые поверхности микропустот, образующихся в процессе пластического течения металла. Ямочный излом характерен для большинства пластичных или вязких материалов.

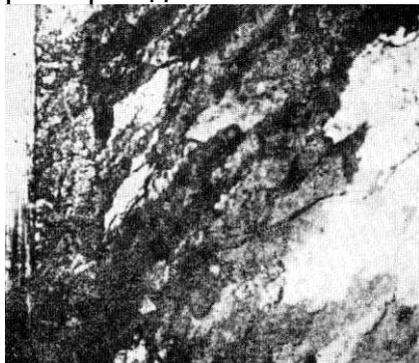


Рис.1. Волокнистый вязкий излом стали

Ямочная структура изломов наблюдается у углеродистых и легированных сталей, чугунов при разрушении выше критической температуры хрупкости, аустенитных сталей, алюминиевых и медных сплавов, металлов с гексагональной решеткой, таких как цинк, магний и др.

На материалах, подвергнутых горячей пластической деформации, наблюдаются ямки волокнисто-полосчатого излома (рис.1) - микроуглубления на поверхности разрушения, возникшие в результате образования и слияния микропустот около вытянутых структурных неоднородностей: неметаллических включений и ликвационных

зон. Для сталей с ферритной структурой средний размер ямок соответствует размерам зерен феррита. В сталях с мартенситной структурой дисперсность ямочного строения связана с величиной действительного аустенитного зерна. Чем больше величина зерна, тем крупнее ямки. Средний размер ямок коррелирует и с максимальным размером игл мартенсита.

1.2. Хрупкий ручьистый излом (скол)

При хрупком внутризеренном разрушении распространение трещины идет достаточно строго по кристаллографическим плоскостям. Это вызывает образование участков с плоскими гранями - фасеток скола, размеры которых могут быть различны и зависят от структуры и свойств материала. При грубом изломе фасетки скола могут наблюдаться визуально как гладкие блестящие участки (рис.2).

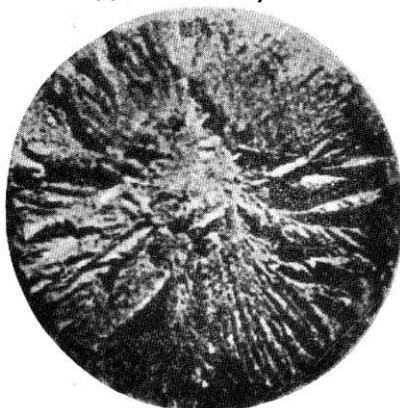


Рис. 2. Хрупкий излом

При увеличении оптического микроскопа на фасетках скола обнаруживается определенный рисунок - ручьистый узор. В структурах распада переохлажденного аустенита - перлите и верхнем бейните - наблюдается корреляция размеров фасеток скола и исходного зерна аустенита, а в игольчатых структурах (нижний бейнит, мартенсит) - корреляция фасеток скола с размером игл.

1.3. Квазихрупкий излом (рис.3)

Квазихрупким изломом называется излом, в котором наряду с признаками хрупкого разрушения обнаруживаются признаки некоторой локальной пластической деформации.



Рис.3. Камневидный квазихрупкий излом стали

Он характеризуется относительно ровным (плоским) строением. Не всегда ориентационно связан с плоскостями скола, характеризуется тем, что наряду с признаками хрупкого разрушения имеет признаки пластической деформации.

2. Фрактографический метод определения критической температуры хрупкости

Стали и сплавы с ОЦК- и ГПУ- решеткой обладают способностью разрушаться хрупко или вязко в зависимости от температуры испытаний.

Температура, при которой наблюдается смена механизма разрушения металлического материала, называется критической температурой хрупкости (КТХ). Способность металлов и сплавов значительно снижать вязкость с понижением температуры в результате изменения механизма разрушения называется хладноломкостью. Хладноломкость является важной характеристикой конструкционной прочности материала.

Для определения КТХ используют фрактографический метод, основанный на изучении макро- или микростроения изломов при различных температурах ударных испытаний - визуальный метод определения КТХ по проценту волокна в изломе.

Для металлов и сплавов, имеющих в изломе визуально различные локальные зоны вязкой и хрупкой составляющих, процент вязкой составляющей в изломе определяется как отношение площади вязкого излома к первоначальному расчетному сечению образца. На основе определения процента вязкой составляющей в изломах образцов, полученных при различных температурах ударных испытаний, строится сериальная кривая в координатах процент волокна - температура испытаний [% B-f(t)].

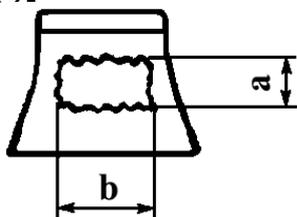


Рис.4. Схема измерения площади хрупкого разрушения в изломе образца

Доля вязкой составляющей в изломе образцов определяется из выражения

$$\%B = \frac{S - ab}{S} 100\%$$

путем измерения штангенциркулем площади излома S и площади участка хрупкого разрушения ($a \cdot b$) согласно схеме рис.4.

В качестве примера на рис.5 приведена сериальная кривая, построенная по проценту вязкой составляющей в изломе стали 40. Кривая имеет резкие перегибы, по которым легко определить температуры начала (t_B) и конца (t_H) перехода от вязкого состояния в хрупкое состояние.

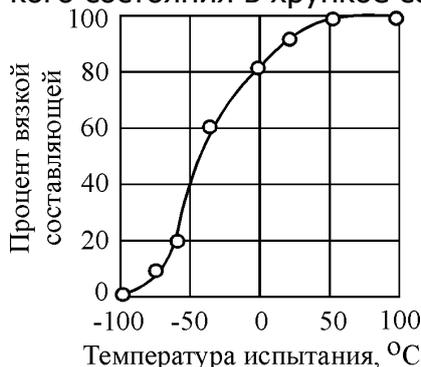


Рис.5. Сериальная кривая вязкой составляющей в изломе стали 40

Для материалов, характеризующихся значительным температурным интервалом вязко-хрупкого перехода, различают температуры t_{10} , t_{50} и t_{90} , соответствующие наличию в изломе соответственно 10, 50 и 90% вязкой составляющей. В качестве критической температуры хрупкости наиболее часто используют температуру, при которой половину площади излома занимает вязкая составляющая - t_{50} .

3. Фрактография усталостных изломов

Процесс усталостного разрушения состоит в постепенном развитии и накоплении повреждений в материале, при этом длительность образования усталостного из-

лома (рис.6) определяется развитием трещины до критического размера, после чего наступает макроразрушение.

Схема усталостного излома приведена на рис.7. В соответствии с этим поверхность излома после усталостных испытаний состоит из двух зон с различным макро-рельефом: "усталостной" зоны или зоны стабильного развития трещины; зоны долома. Площадь, занимаемая каждой из зон, зависит от структурного состояния стали и режима испытаний.

При разрушении деталей, работающих в сложно напряженном состоянии, усталостный излом бывает сложным с несколькими зонами зарождения и распространения трещины и областями перехода между ними.

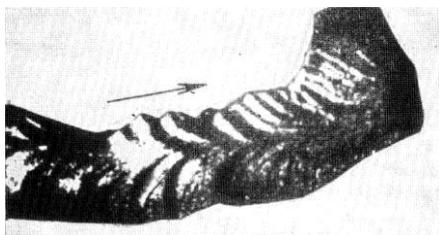


Рис.6. Шевронный усталостный излом, характеризующийся наличием системы ступенек ("елочек" или шеврона)

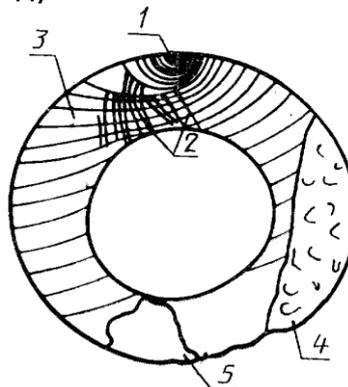


Рис.7. Схема усталостного излома: 1- очаг разрушения, 2- ступеньки и рубцы, 3- усталостные линии, 4- зона ускоренного развития трещины, 5- зона долома

4. Фрактографический метод при анализе неметаллических включений

Неметаллические включения являются одним из важнейших факторов металлургического качества стали.

Метод фрактографии позволяет идентифицировать включения, выходящие в излом при разрушении.

Влияние неметаллических включений различно при разрушении в вязкой и хрупкой области температурного интервала: при хрупком разрушении для стали в высокопрочном состоянии опасны лишь крупные неметаллические включения или плены, которые являются очагами разрушения. Вязкое разрушение практически всегда контролируется включениями.

В настоящее время установлено, что проблема повышения вязкости стали не сводится к достижению возможно большей чистоты стали. Для сталей каждого класса и условий их эксплуатации надо определять верхние границы размеров, количество, вытянутость включений, которые гарантировали бы нужные свойства сталей. Это осуществляется с помощью количественных методов оценки при анализе неметаллических включений.

5. Задание на лабораторный практикум "Фрактография" и содержание отчёта.

Студенту выдаётся фотографическое изображение излома, который следует проанализировать и составить заключение, используя следующую схему и последовательность действий.

1. Составить схему разрушения, оценку месторасположения излома и его связь с зоной действия наибольших напряжений, оценку наличия конструктивных концентраторов напряжений, выявить в изломе металлургические дефекты.
2. Определить вид и степень макропластической деформации, и ее локализацию в целом и вблизи излома.
3. Определить на поверхности излома наличие разграниченных, макроскопически различимых по строению и цвету участков, свидетельствующих о протекании разрушения во времени.
4. Выявить наличие в изломе продуктов коррозии, окислов и установить связь их с очагом разрушения.
5. Выявить наличие трещин вблизи и вдали от излома, оценить их расположение, количество, направление.
6. Выявить возможные дефекты структуры.
7. Составить заключение, включающее оценку качества материала, характера разрушения, факторов способствующих разрушению: уровень напряжений, температур, наличие концентраторов напряжений конструкционного и технологического происхождения (риски, отсутствие радиусов перехода, перепад жесткости).

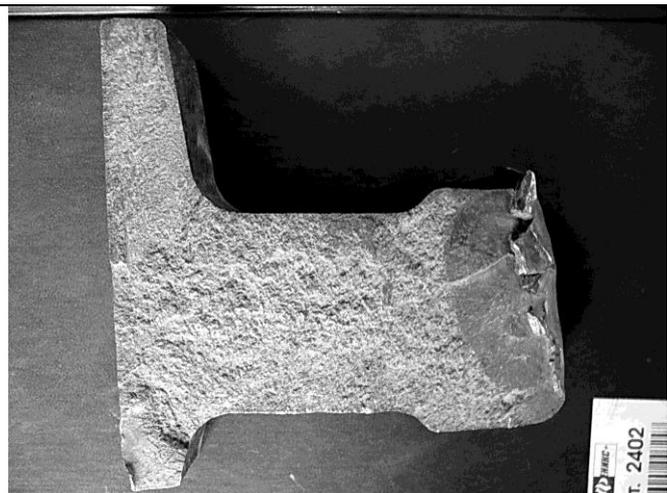
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей. Справочник/Под ред. В.Д. Кальнера. М.: Машиностроение, 1984.-383 с.
2. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. М.: Машиностроение, 1978.- 200 с.
3. Фридман Я.Б., Гордеева Т.А., Зайцев А.М. Строение и анализ изломов металлов. М.: Машгиз, 1960.- 128 с.
4. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. в 3-х т. Т.1. Методы испытания и исследований / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия, 1983.- 120 с.
5. Домбровский Ю.М. Фрактография: Учеб. пособие.- 2019, Электронный ресурс: <http://skif.donstu.ru/>

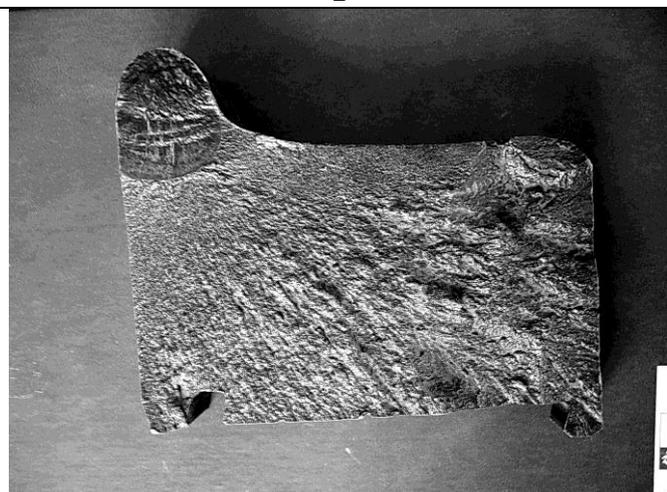
НОМЕРА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ



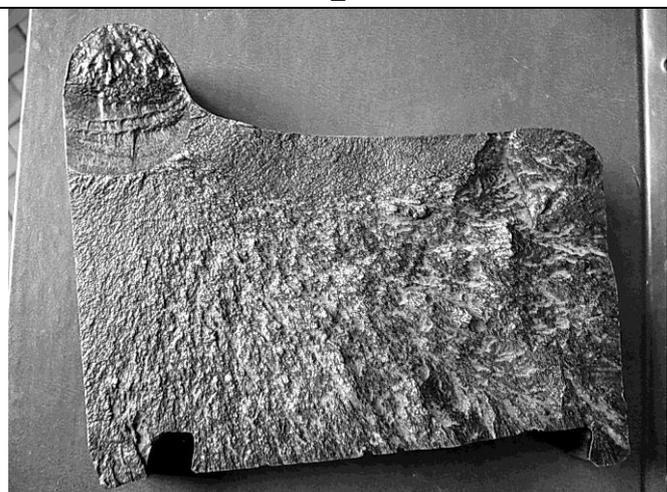
1



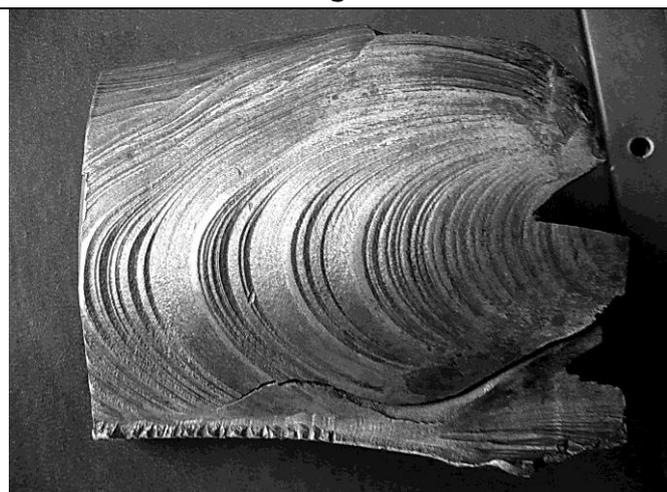
2



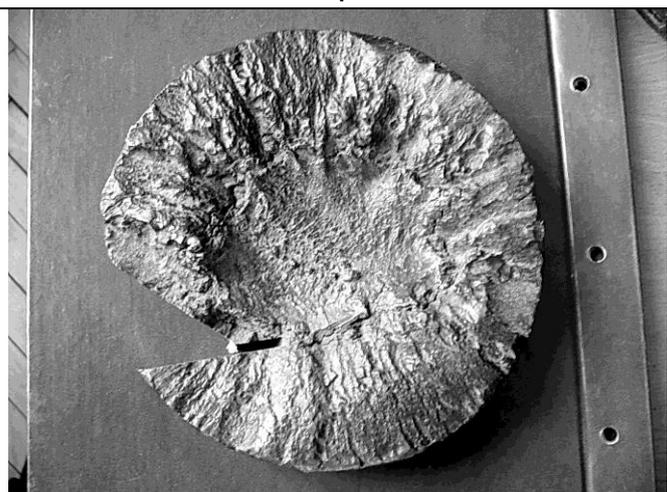
3



4



5

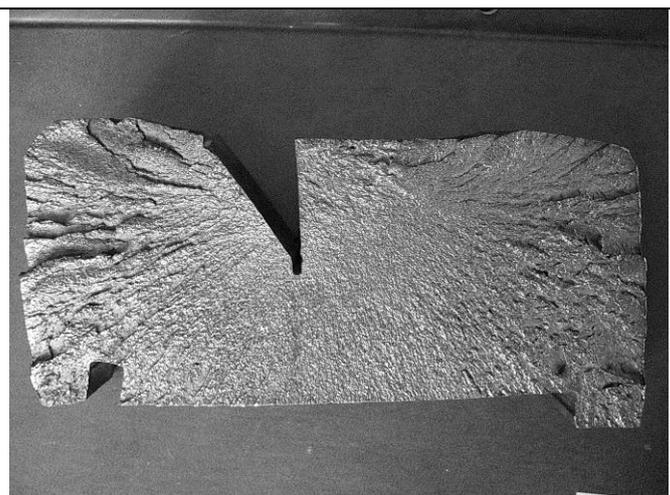


6

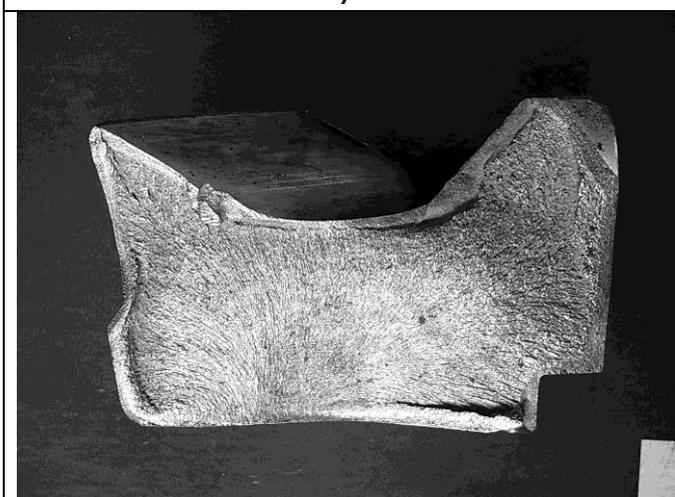
Фракторграфия



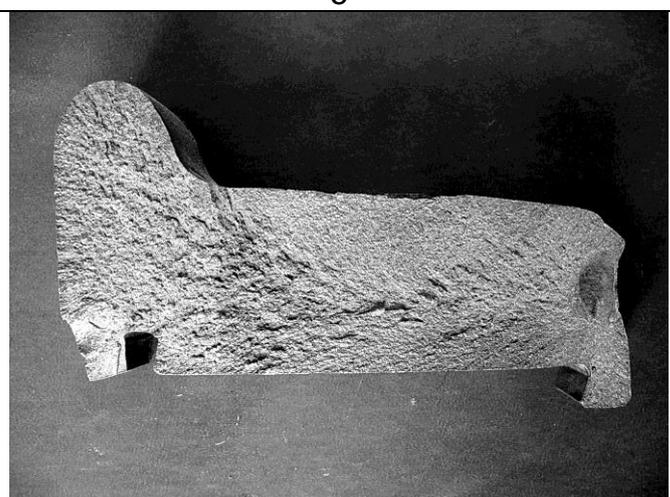
7



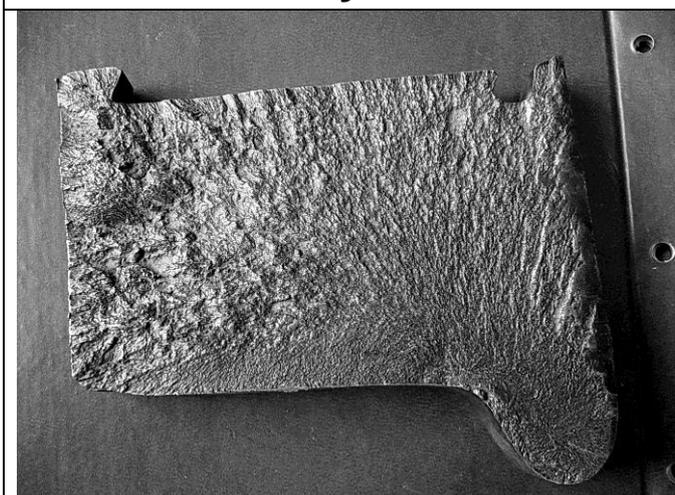
8



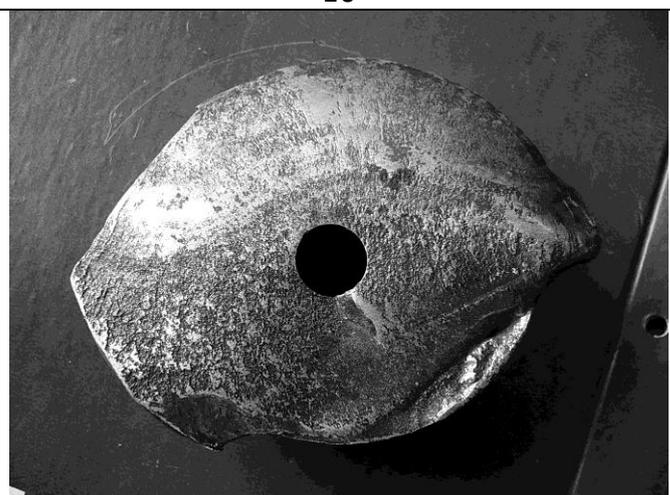
9



10



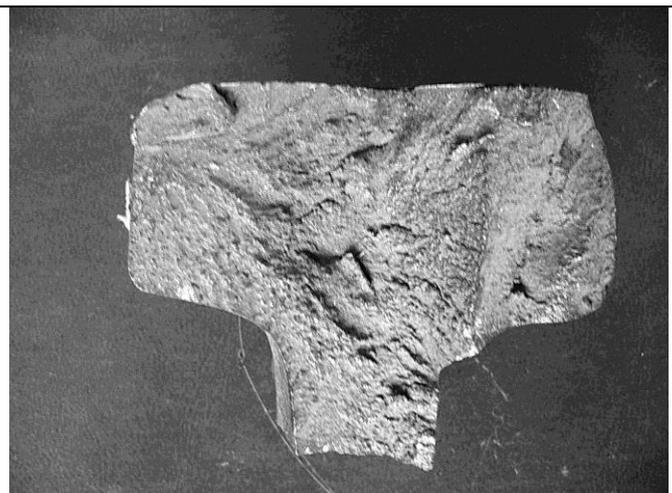
11



12



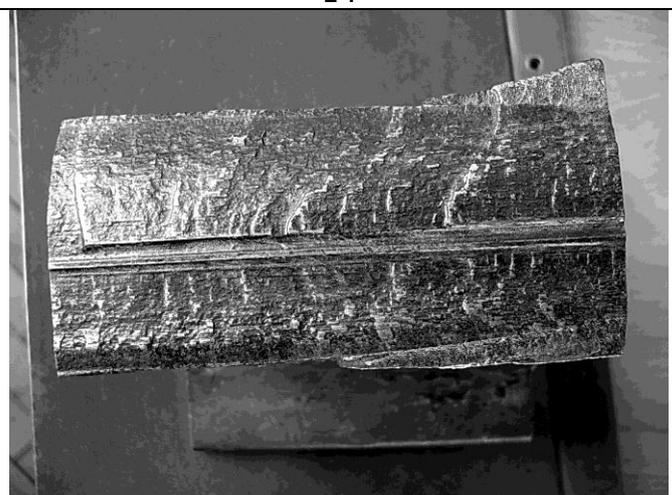
13



14



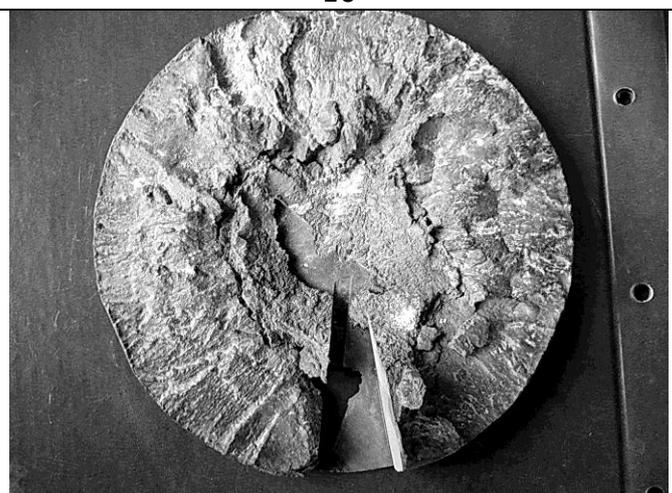
15



16



17

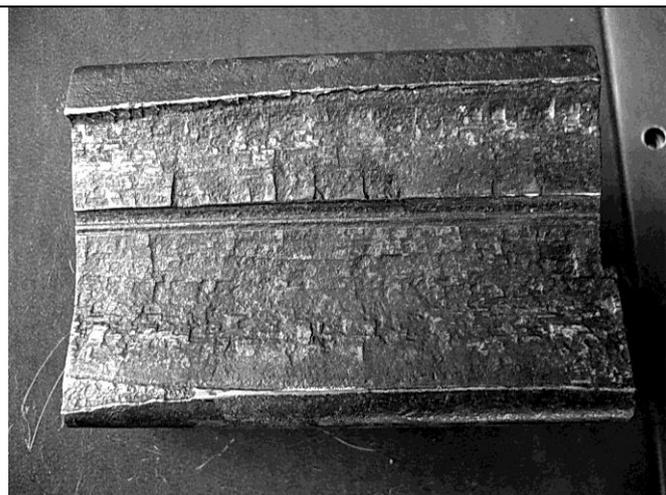


18

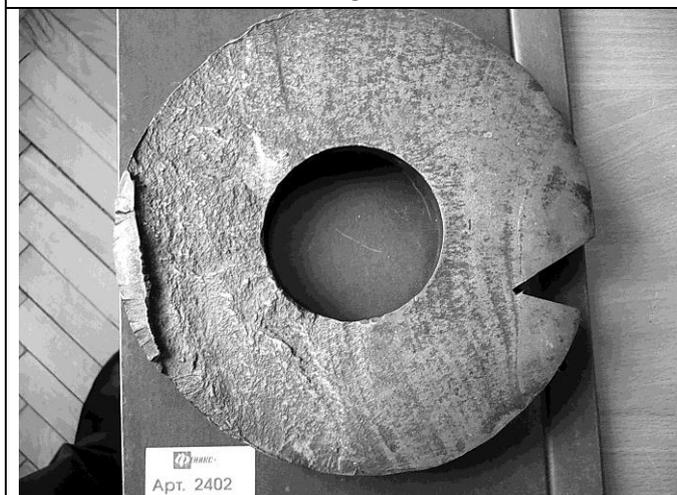
Фракторграфия



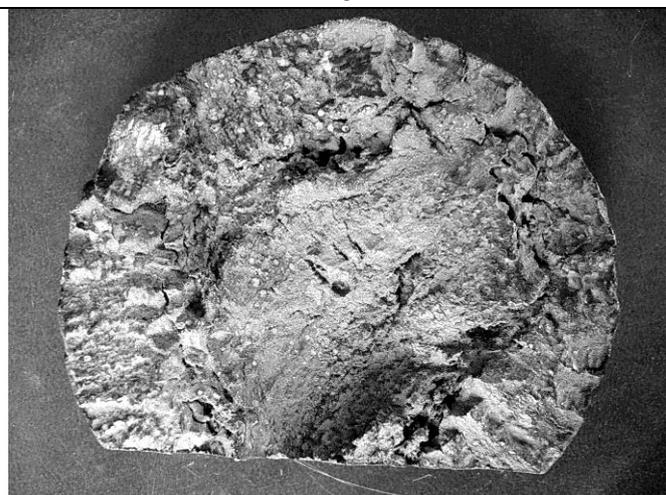
19



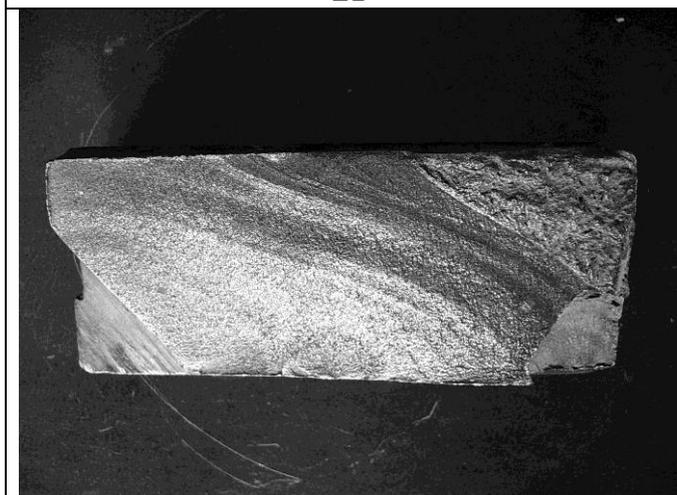
20



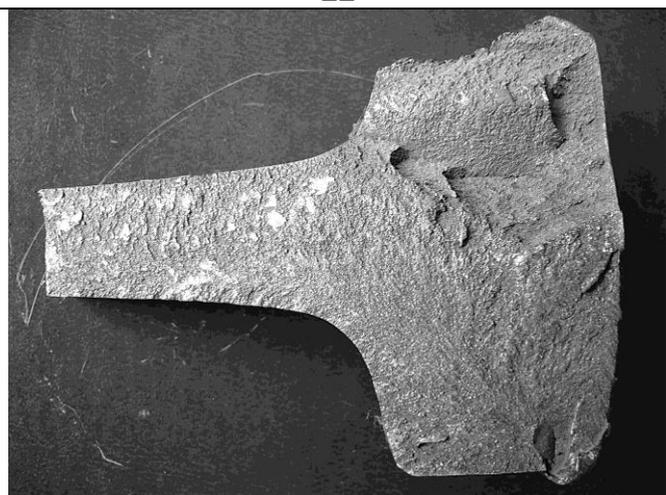
21



22

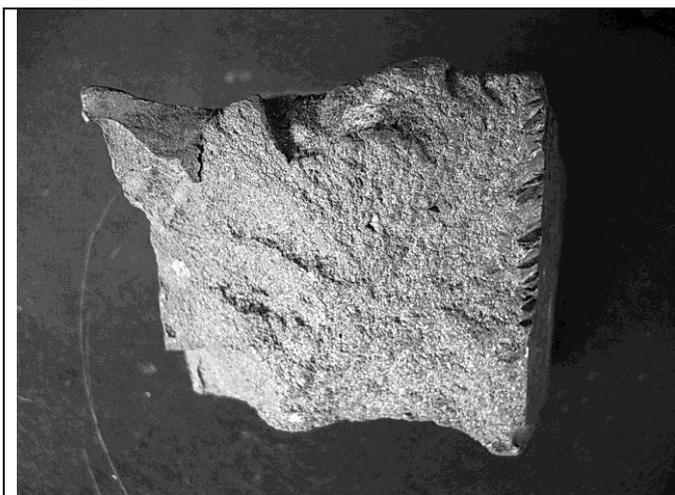


23

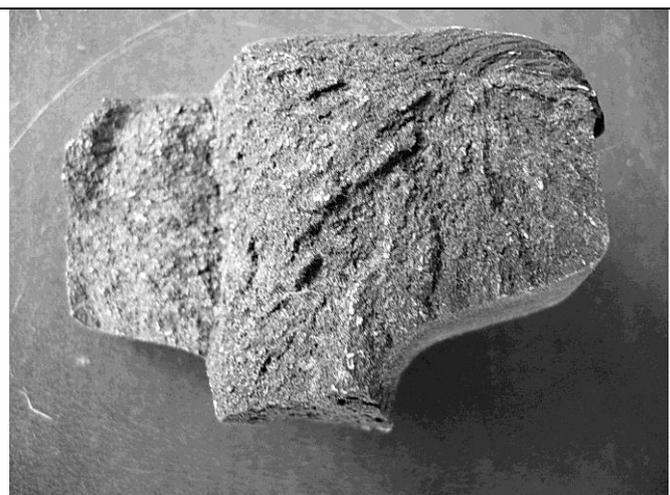


24

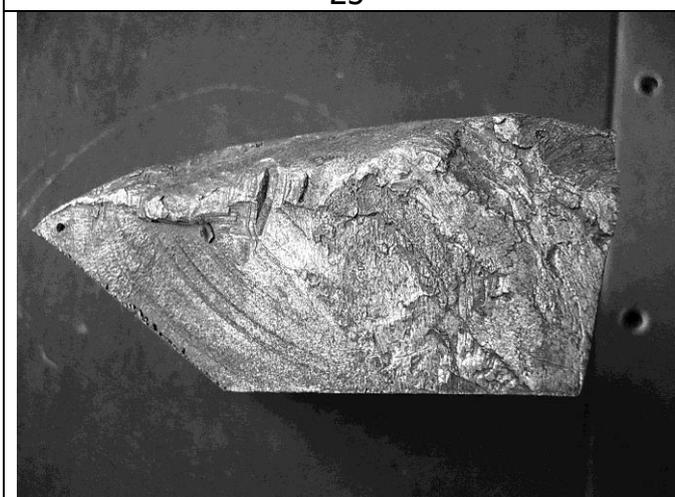
Фракторграфия



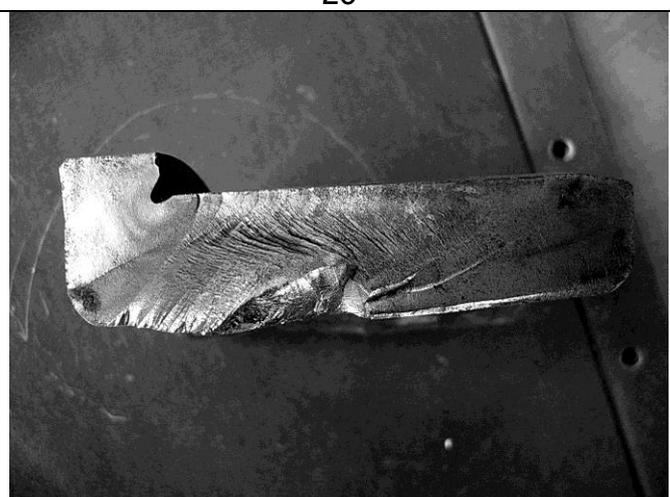
25



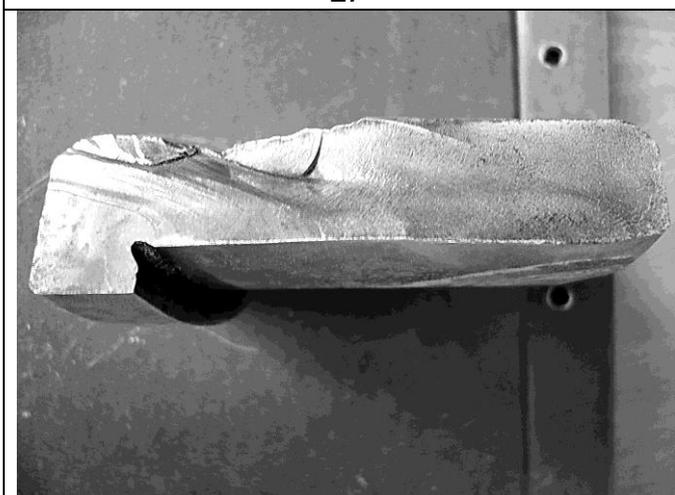
26



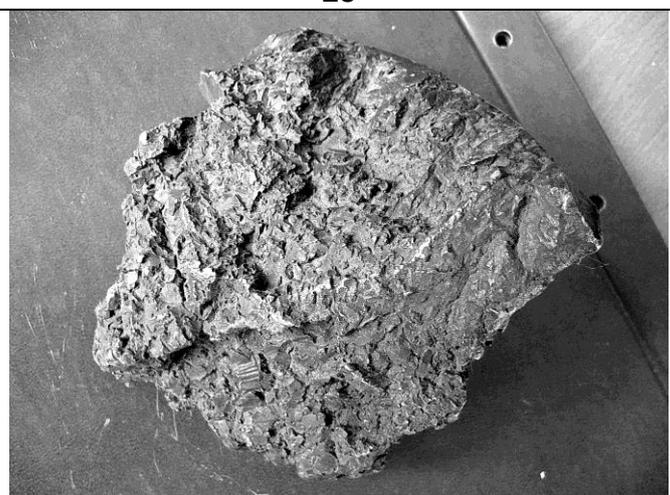
27



28

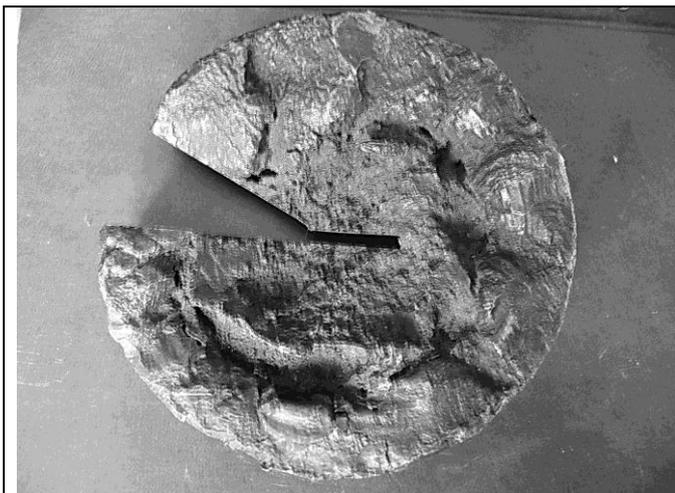


29

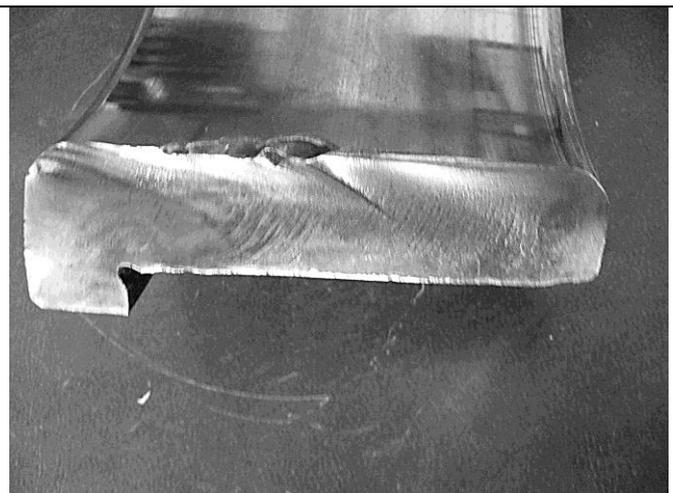


30

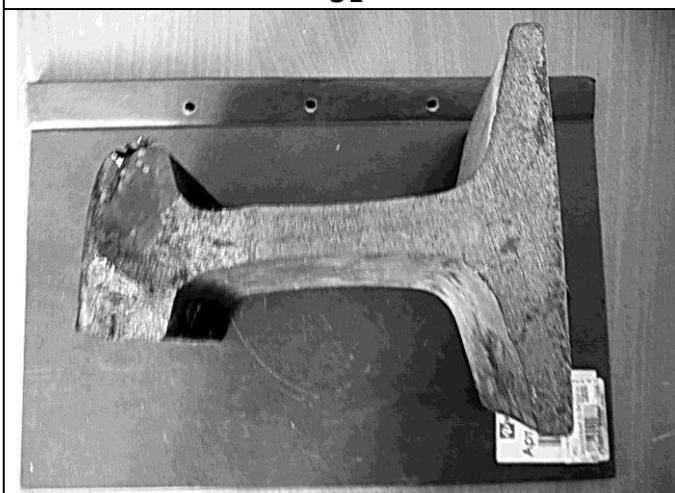
Фракторграфия



31



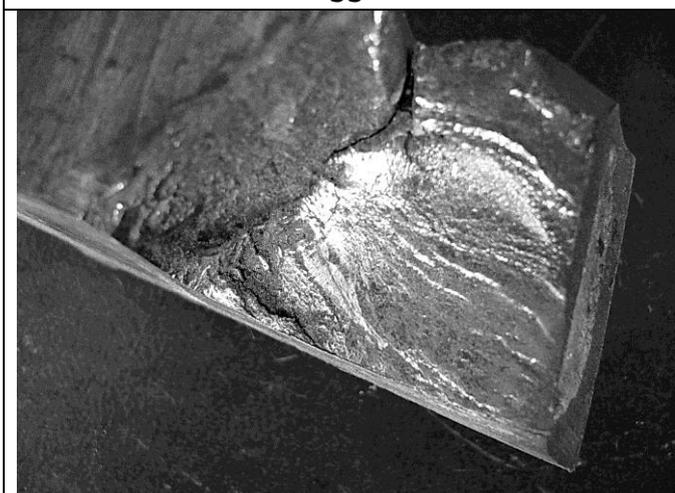
32



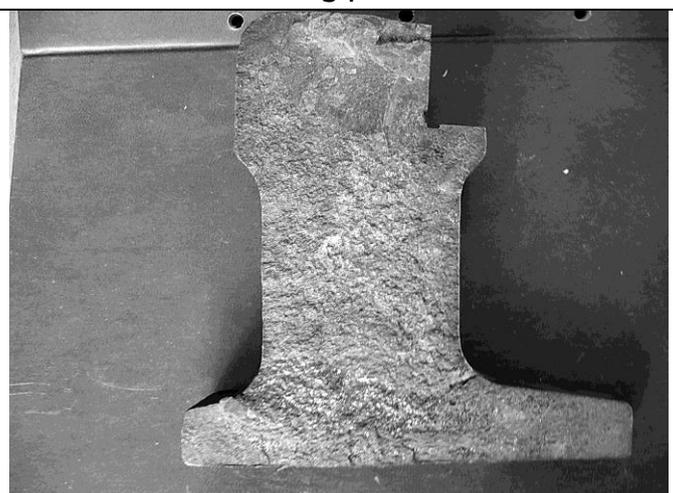
33



34



35



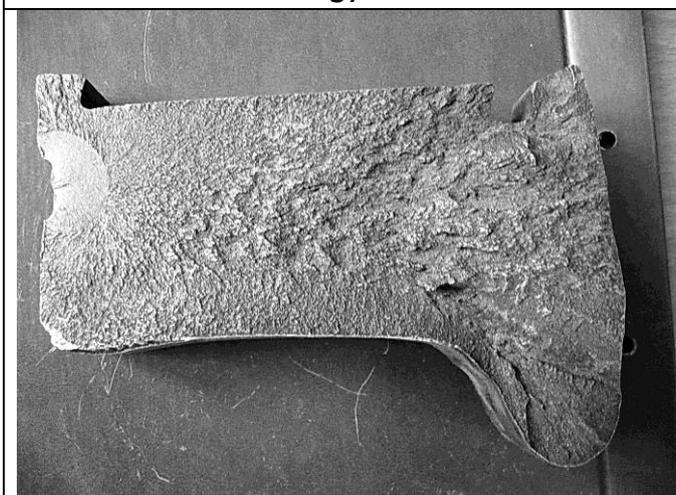
36



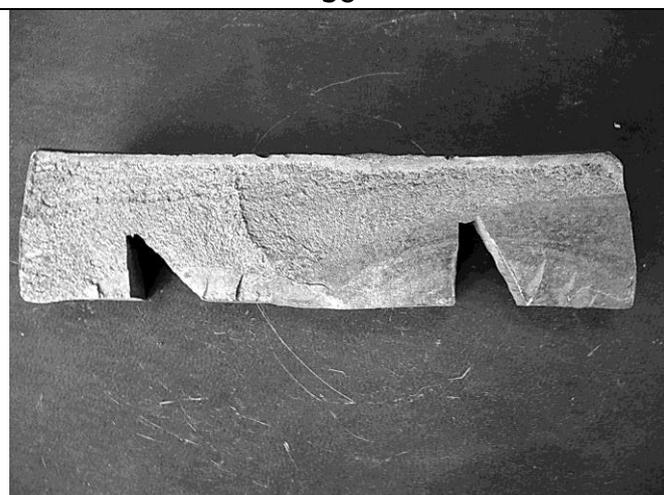
37



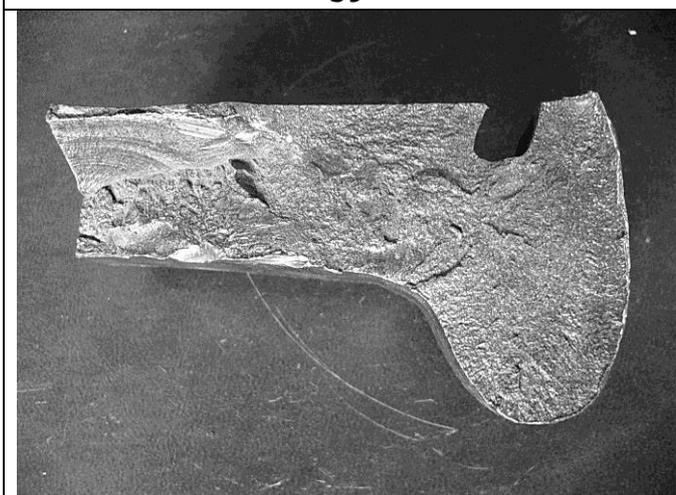
38



39



40



41



42