

УДК 539.21:539.12.04

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ SHEAR-PUNCH ИСПЫТАНИИ

Ермаков Е.Л., Гусев М.Н., Пархоменко Н.А., Максимкин О.П.

Институт ядерной физики НЯЦ РК

Методами металлографии и сканирующей электронной микроскопии изучены структурные особенности излома, образующегося при механических испытаниях по схеме «Shear-Punch». Выделены 2 характерные области – зоны среза и отрыва – и рассмотрены особенности их строения для необлученных и облученных образцов молибдена, никеля, сплавов САВ-1 и 12Х18Н10Т.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее информативных способов характеристики материалов является фраттография – изучение поверхности, образовавшейся в результате разрушения. Исследование излома, как правило, позволяет определить характер и причины разрушения материалов.

В настоящее время получил заметное распространение новый метод определения механических характеристик высокорadioактивных материалов, получивший условное название «Shear-Punch», он заключается в испытаниях «на сдвиг» миниатюрных пластин или дисков толщиной 200-300 мкм [1,2]. Метод имеет определенные преимущества перед традиционными испытаниями на статическое растяжение, особенно в случаях исследования дефицитных и/или радиационно-опасных материалов, в частности, подвергнутых высокодозному нейтронному облучению.

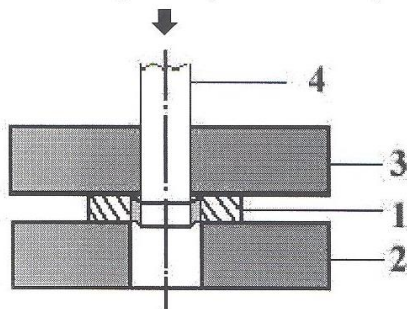
При общей схожести механизмов пластической деформации при «Shear-Punch»-испытании и при одноосном растяжении, процессы разрушения в случае «Shear-Punch»-теста имеют ряд особенностей, которые в настоящее время недостаточно рассмотрены в научной литературе.

Настоящая работа посвящена обсуждению результатов фраттографического исследования материалов, испытанных по схеме «Shear-Punch».

Личный вклад исполнителей: внедрение нового метода механических испытаний «Shear-Punch», выполнение экспериментов с применением данной методики, выполнение электронно-микроскопических исследований, анализ результатов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Устройство «Shear-Punch», представляет собой систему «пуансон-матрица» (см. рис. 1). В ходе испытания пластина испытываемого материала (1) фиксируется между стальными плоскопараллельными плитками (2) и (3), и с заданной постоянной скоростью продавливается пуансоном.



1 – образец, 2 – опорная плита, 3 – фиксирующая плита, 4 – подвижный пуансон
Рис. 1 Испытание по методу «Shear-Punch» (Схема)

Основным результатом эксперимента является кривая «нагрузка – перемещение пуансона», на которой можно выделить такие особые точки, как предел текучести τ_T и прочности τ_B «на сдвиг». Применение предварительно построенной корреляционной зависимости «предел текучести на сдвиг τ_T – предел текучести на одноосное растяжение σ_{02} » позволяет получать в результате «Shear-Punch» эксперимента величины пределов текучести σ_{02} и прочности σ_B «на одноосное растяжение» [1,3,4].

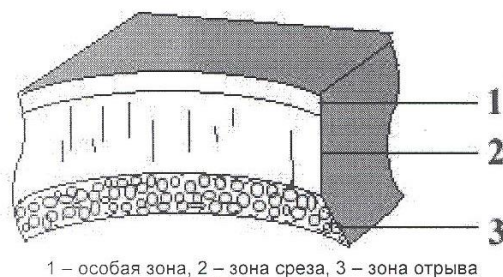
Исследовали модельные металлы – молибден (отжиг 12000С, 1 час) и никель (отжиг 9000С, 30 мин) технической чистоты, промышленный сплав САВ-1 и нержавеющую сталь 12Х18Н9Т (отжиг 10500С, 30 мин) в виде пластин толщиной 300 мкм. Сплавы САВ-1 и 12Х18Н9Т являются конструкционными материалами и используются в реакторостроении, поэтому их изучение представляет собой как научный, так и практический интерес

Для механических испытаний микрообразцов использовали стандартное устройство «Shear-Punch» [3], размещенное на испытательной машине ФП-100/1. Эксперименты проводили при температуре 20 0С со скоростью движения пуансона 0,7 мм/мин.

Поверхность разрушения исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа «AMRAY-1200В» в диапазон увеличений 20-20000 крат. Растровый микроскоп оснащен энерго-дисперсионным анализатором, позволяющий проводить локальный элементный анализ, в частности, идентифицировать карбидные включения (локальность анализа до 0,2 мкм²).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ электронно-микроскопических снимков поверхности разрушения исследуемых материалов позволил выделить три характерные зоны (см. рис. 2):



1 – особая зона, 2 – зона среза, 3 – зона отрыва
Рис. 2 Общая схема излома

Особая зона – область внедрения пуансона (1), шириной порядка единиц микрометров. Ее появление и размеры связаны, как можно полагать, с качеством поверхности материала.

Зона среза (2) появляется, по всей вероятности, при быстром скользящем движении пуансона в ходе пластической деформации и разрушения. На ней видны царапины и вырывы материала, захваченного пуансоном. Эта зона характерна для излома, полученного в результате «Shear-Punch» испытания.

За областью среза следует зона отрыва (3) имеющая вид конуса, боковая поверхность которого находится под углом от 30 до 45° к оси пуансона.

Установлено, что соотношение протяженностей зон (2) и (3) вдоль движения пуансона в значительной мере определяется толщиной образца, а также, вероятно, геометрией конкретного «Shear-Punch» устройства [3,5]. В то же время особенности строения указанных зон зависят, в первую очередь, от состояния и структурно-фазового состава испытываемого материала.

В зоне среза можно выделить ряд структурных особенностей: у всех исследованных материалов наблюдаются многочисленные мелкие царапины, обусловленные, скорее всего неровностями пуансона (см. рис.3а). В сплаве САВ-1 (см. рис.3б) обнаружены следы от выкрошившихся включений, в первую очередь крупных частиц. Включения, мало отличающиеся по прочности от матрицы, оказываются срезанными, а крупные включения (4-6 мкм), превосходящие по твердости вмещающую их матрицу, увлекаются пуансоном и формируют глубокие треки (следы). Как вправило, частицы сформировавшие трек остаются в его конце. Включения хорошо заметны на поверхности среза, что в значительной мере облегчает проведение их химического анализа. Например, анализ крупных включений, обнаруженных в САВ-1показал, что они обогащены серой и имеют следующий химический состав: Al-77.46%, S-21.12%, Cr-1.42%.

В зоне среза граничащей с зоной отрыва, в сплаве САВ-1 и стали 12Х18Н9Т обнаружены тангенциальные трещины, образовавшиеся в результате расслоения материала под действием пуансона (см. рис.3б, 4а).

Для сравнительно мягких пластичных материалов, таких как облученный сплав САВ-1, за пуансоном достаточно часто увлекаются участки материала (см. рис.5а) от десятков до сотни микрон поперечником, что обусловлено значительной адгезией материала образца к пуансону. В ряде случаев видны следы разворота вырванного фрагмента относительно направления движения пуансона. Вырывы в зоне среза так же наблюдаются в облученной нейтронами стали 12Х18Н9Т (см. рис.5б).

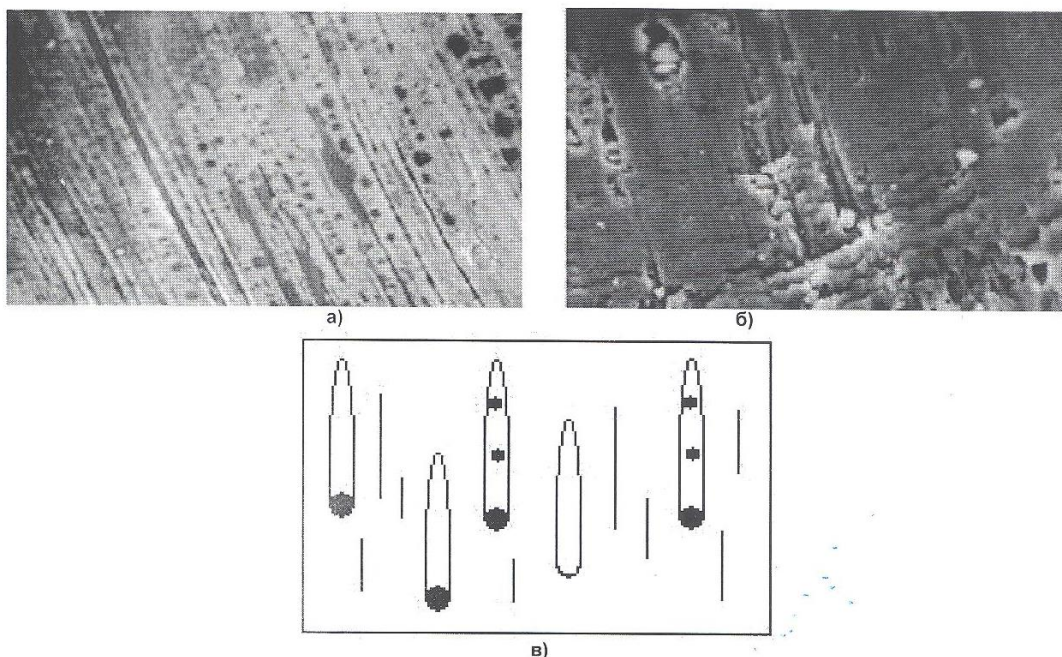


Рис. 3. Царапины и треки в зоне среза образцов. а- фрактограмма зоны среза никеля (x700); б- фрактограмма зоны среза сплава САВ-1 (x500); в- обобщенная схема

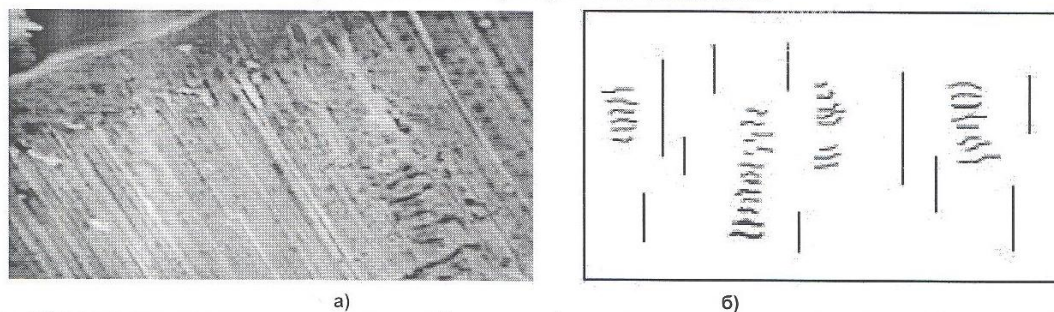


Рис. 4 Тангенциальные трещины в зоне среза образцов: а- фрактограмма зоны среза нержавеющей стали 12X18H9T (x700); б- схема зоны среза с тангенциальными трещинами

Структурные особенности зоны отрыва более разнообразны, по сравнению с зоной среза. Для сравнительно пластичных материалов (никель) наблюдается, как правило, вязкий, чашечный излом (см. рис. ба.). Отметим, что при одноосном растяжении никеля образуется вязкий «ножевидный» излом, который не поддается количественной обработке (размеры, плотность чашек, площадь излома и т.д.). Данный факт показывает определенное преимущество метода «Shear-Punch» испытания.

Для необлученного сплава САВ-1, характеризующегося сравнительно высокой пластичностью, низкими прочностью и способностью к деформационному упрочнению, отмечен «направленный» вязкий излом, на котором чашечки вытянуты по направлению движения пуансона (см. рис. бб). В ряде случаев отмечается выкрашивание включений с характерным размером 3-5 мкм. При этом формируется след, вытянутый в направлении движения пуансона. (см. рис. бв).

Для облученной нейтронами стали 12X18H9T в зоне отрыва отмечен «ручьистый» излом – ориентированные по направлению движения пуансона участки скола с фрагментами вязкого излома (чашечки ~1мкм в диаметре). Характерный размер элементов структуры (масштаб фрагментов) – 20-40мкм (см.рис.бг).

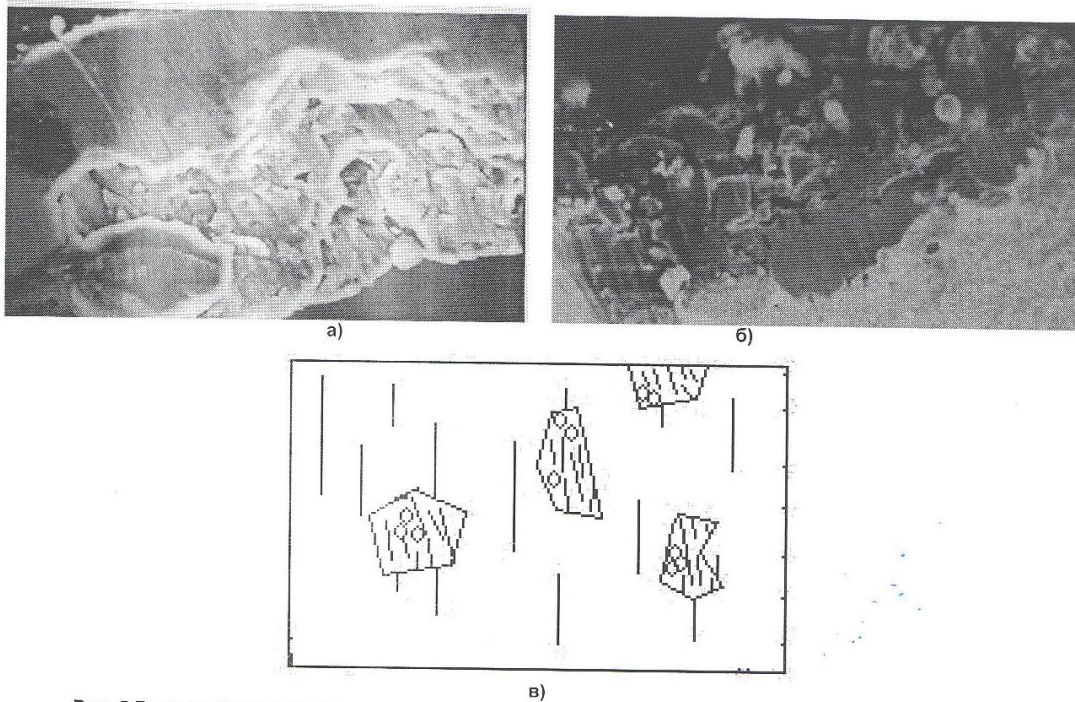
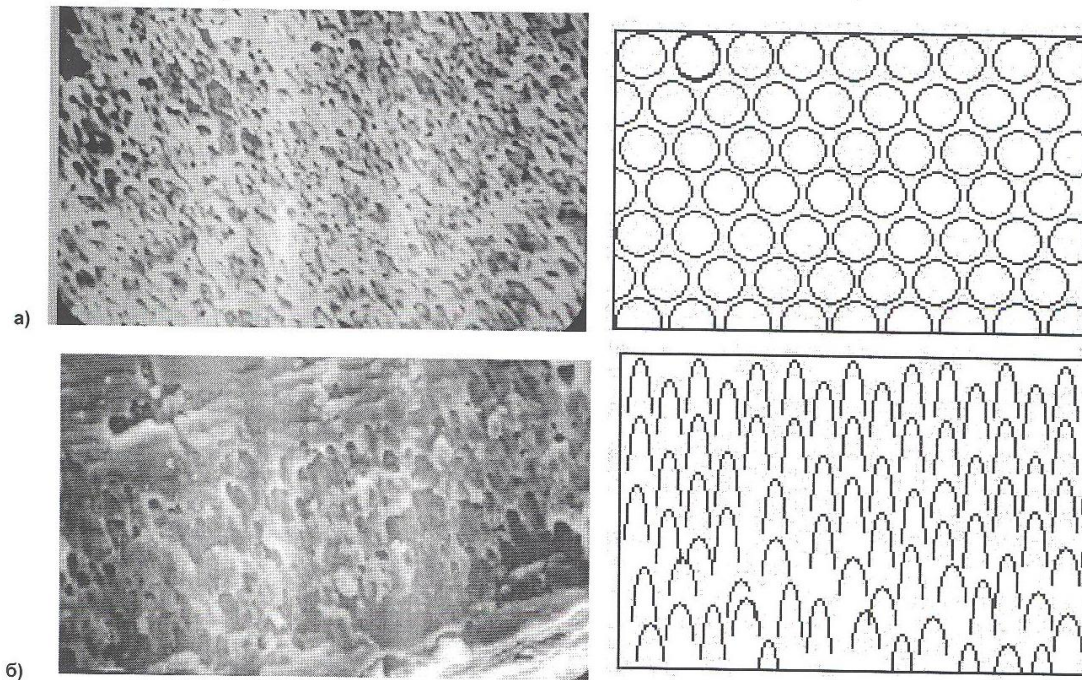


Рис. 5 Вырывы участков материала в зоне среза. а – сплав САВ-1 облученный нейтронами(х350); б – сталь 12Х18Н9Т облученная нейтронами(х350); в – схема.

Отметим, что появление всех трех указанных областей возможно только в случае наличия у материала определенного ресурса пластичности. В то же время молибден, как облученный нейтронами, так и необлученный, является материалом, склонным к охрупчиванию даже при незначительном содержании примесей. В этом случае, как при одноосном растяжении, так и при «Shear-Punch» - тесте наблюдается хрупкий интеркристаллитный излом (см. рис. 7б). Отмеченные выше зоны на «Shear-Punch» пробе не выявлялись, а деформация и разрушение молибдена носили, по сути, характер проламывания пуансоном испытуемой пластины (см. рис. 7а).



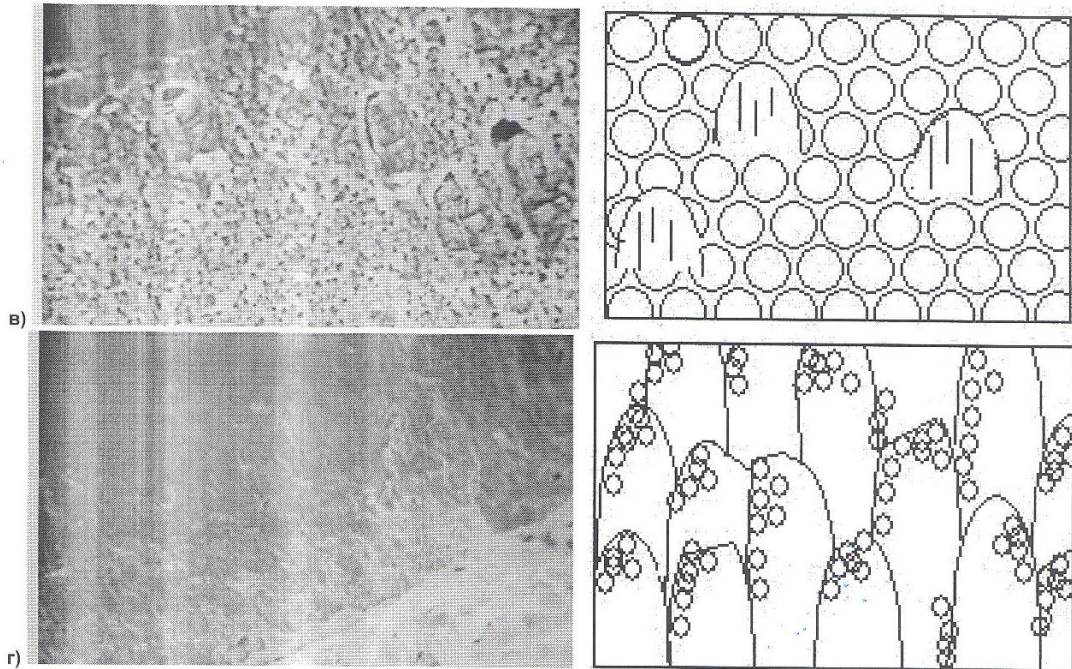


Рис. 6 Особенности строения зоны отрыва. а – фрактограмма и схема вязкого чашечного отрыва необлученного никеля(х700); б – фрактограмма и схема направленного вязкого отрыва САВ-1(х500); в – фрактограмма и схема вязкого отрыва с элементами скола, сталь 12Х18Н9Т(х700); г – фрактограмма и схема ручьистого излома, облученная нейтронами сталь 12Х18Н9Т(х350).

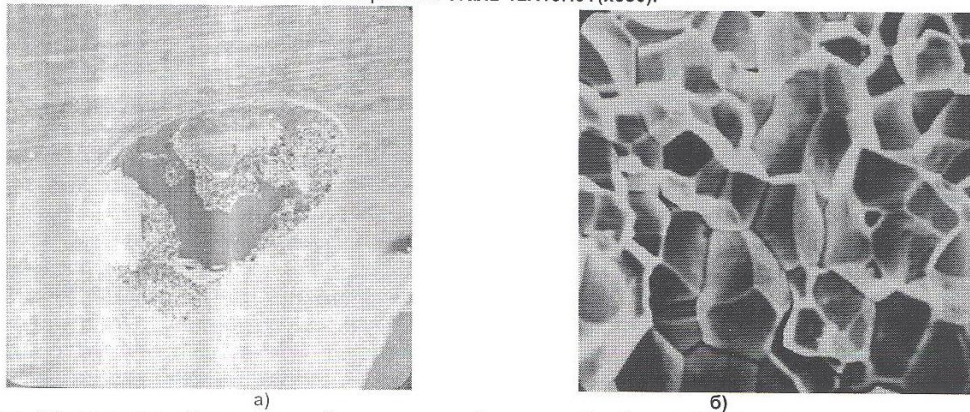


Рис. 7 Разрушение облученного нейтронами молибдена: а – общий вид(х35); б – структура излома(х850).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в отличие от одноосного растяжения, где доминирующим механизмом разрушения является отрыв, при «Shear-Punch» испытании на образце дополнительно формируется зона среза, исключения составляют изломы хрупких материалов (молибден). С помощью фрактографического анализа зоны отрыва, полученной при «Shear-Punch» тесте, можно адекватно определить общий характер разрушения – вязкий, хрупкий, зернограничный. При этом строение излома может иметь некоторые отличия от случая одноосного растяжения – элементы вязкого излома, такие как чашечки отрыва, оказываются вытянуты вдоль направления движения пуансона, что затрудняет, в частности, определение высоты их гребней. Вытянутость наблюдается и для следов от выкрошившихся включений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garner F.A. and other «An investigation into the origin and nature of the slope and axis intercept of the Shear-Punch tensile yield strength correlation using finite element analysis» // Effects of radiation material: 19th International Symposium, ASTM, STP 1366, 2000, p 1018.

2. Song, S., Faulkner, R.G., and Flewitt P.E.J., «Grain boundary phosphorus segregation under irradiation and thermal aging and its effect on the ductile-to-brittle transition» Effects of radiation material: 20th International Symposium, ASTM, STP 1366, 2001, p.189.

3. Гусев М.Н., Максимкин О.П., Матесов Д.С., Чакров П.В. «Shear-Punch – новый прибор и метод определения механических свойств высокоактивных материалов» // Вестник НЯЦ, сер. «Ядерная физика и радиационное материаловедение», 2001, выпуск 4, с. 43-46.

4. Ганеев Г.З., Туркебаев Т.Э., Гусев М.Н. «Определение механических свойств материалов прогибом тонкой пластины» // Известия МОН РК, НАН РК, серия физико-механическая, 2001, №6, с. 79-82.

5. Гусев М.Н., Матесов Д.С., Ермаков Е.Л. «Роль масштабного фактора при испытаниях на «сдвиг» методом Shear-Punch» // Труды 2-й международной научно-практической конференции молодых ученых, КазНТУ им. Сатпаева, Алматы, 2002, часть 1, с. 322-331.

МЕТАЛДЫ ЗАТТАРДЫҢ SHEAR-RUNCH СЫНАҚТАР КЕЗІНДЕГІ ҚИРАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Ермаков Е.Л., Гусев М.Н., Пархоменко Н.А., Максимкин О.П.

Ядролық физика институты

Сәулелендірілген және сәулелендірілмеген молибден, никель, САВ-1 және 12Х18Н10Т корытындыларының екі өзіндік аймақтары бөлінді-кесілу және үзілу аймақтары-олардың қартайу ерекшеліктері қарастырылды.

PECULIARITIES OF DESTRUCTION OF THE METALLIC MATERIALS AT SHEAR- PUNCH TEST

Yermakov E.L., Gussev M.N., Parchomenko N.A., Doctor of physic-mathematical sciences Maksimkin O.P.

Institute of Nuclear Physics

With using metallography and scanning electronic microscopy the peculiarities of fracture of molybdenum, nickel, steel 12Cr18Ni10Ti, SZAV-1 alloy tested with «Shear-Punch» method was investigated. Two separate area–area of cut and area of break – was found and peculiarities of their structure was studied.