

Металлографические и фрактографические исследования отколов в стальных оболочках

Бойко м.м., Грязнов Е.Ф., Никитина Е.В.,

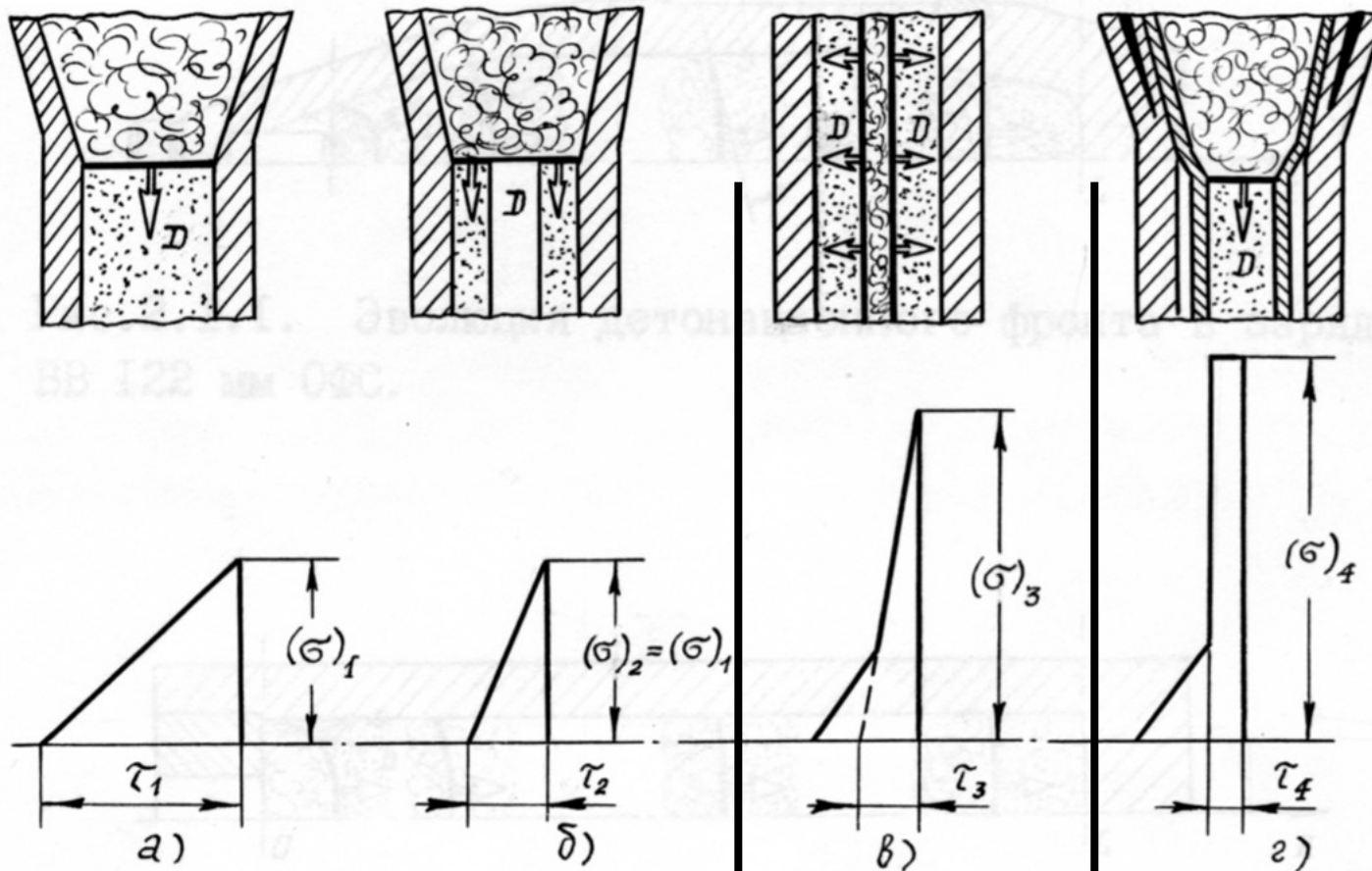
*Уткин А.В.**

sm4@sm.bmstu.ru

Московский государственный технический университет
им. Н.Э.Баумана
г.Москва

*Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка

Схемы нагружения оболочек

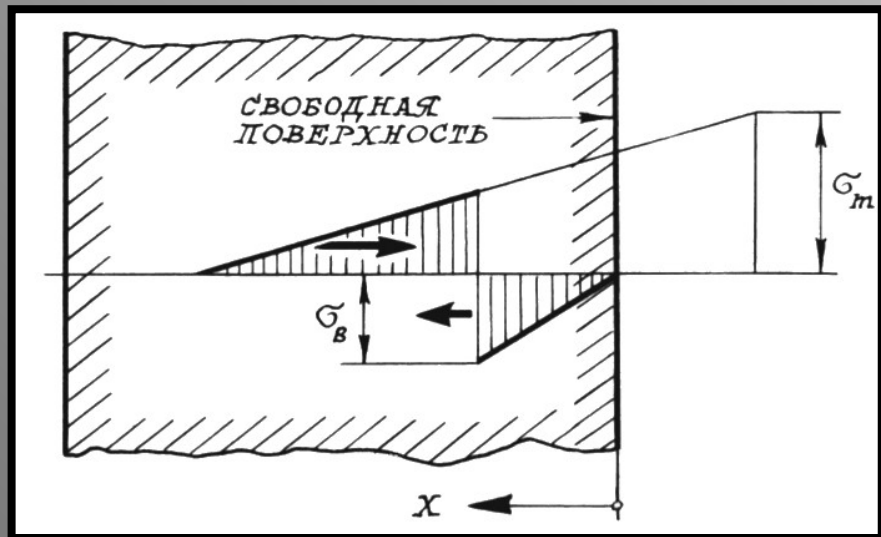


Скользящий детонационный фронт

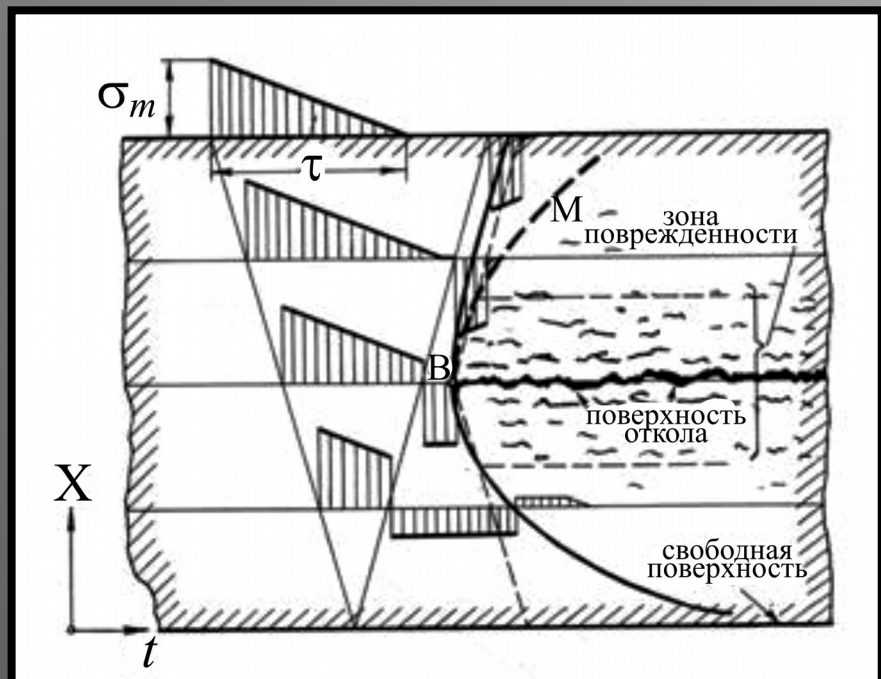
Падающий детонационный фронт

Кольцевые ударники

Взаимодействие падающей и отраженной волн



Акустическое приближение



Изменение давления при отражении импульса сжатия от свободной поверхности. (Броберг)

Откольная прочность материала оболочек

Цилиндрические оболочки, падающий детонационный фронт

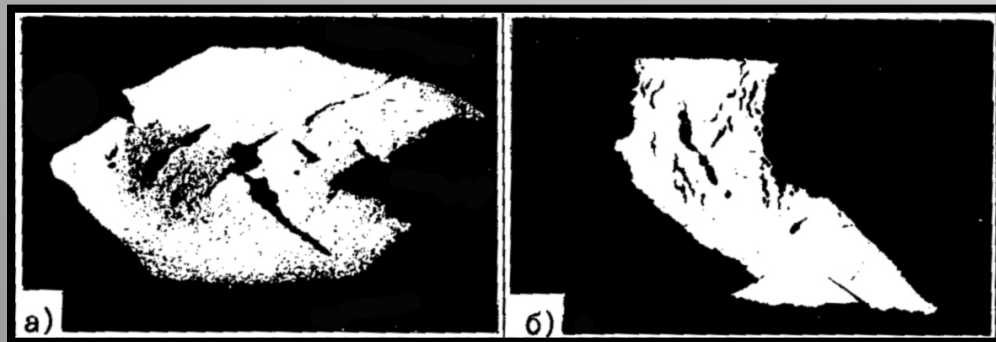
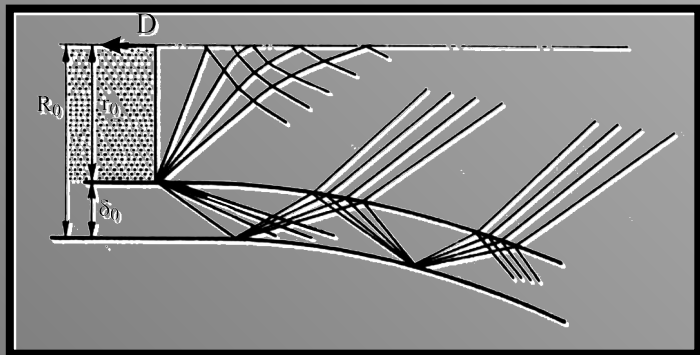
Вид образца	Оболочка			Пластина		
Толщина Δ_0 , мм	10	2,5	1,0	10	2,5	1,0
Откольная прочность, σ_s , ГПа	2,6	3,0	нет откола	3,0	3,0	нет откола

Конические оболочки, нагружение кольцевыми ударниками

Толщина оболочки, мм	5	8	12	18	25
Материал оболочки	сталь 45	сталь 20	сталь 20	сталь 45	сталь 20
Откольная прочность σ_s , ГПа (эксперимент)	2,89	1,87	2,28	2,6	2,32
Откольная прочность σ_s , ГПа (расчет)	2,78	2,22	2,20	2,82	2,37

Откольные прочности сталей при одноосной и плоской схемах деформированного состояния практически не отличаются.

Скользящий детонационный фронт. Сплошной заряд ВВ. Толстые оболочки.



сталь 20

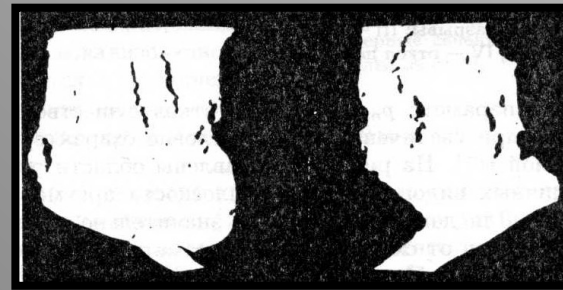
сталь 60

$$\frac{dp}{dt} = 1.5 \dots 4.5 \text{ ГПа} / \text{мкс}$$

Зоны деструкции фрагментов стальных оболочек



сталь 60C2

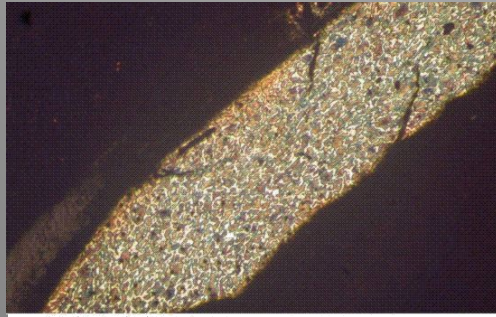


сталь 110Г2С

Скользящий детонационный фронт.

Сплошной заряд ВВ. Тонкие оболочки.

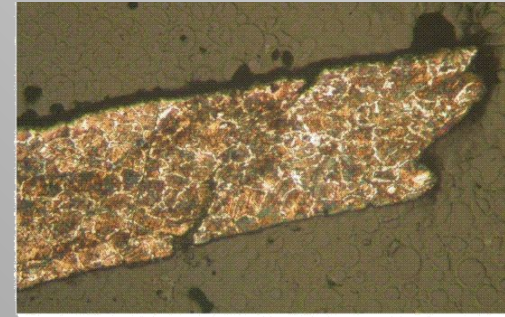
Отсутствуют зоны деструкции у фрагментов тонкостенных макетов



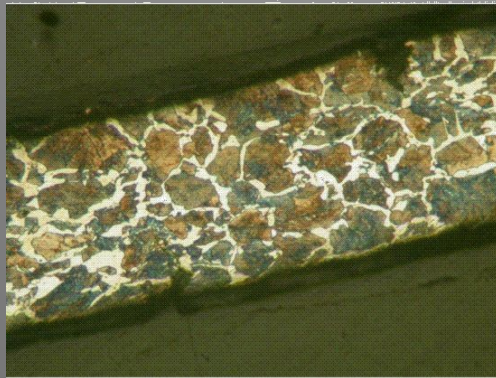
а



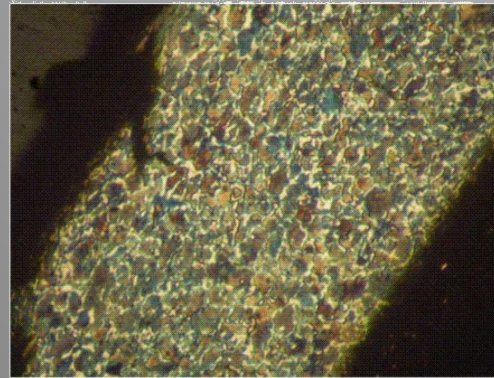
б



в



г



д



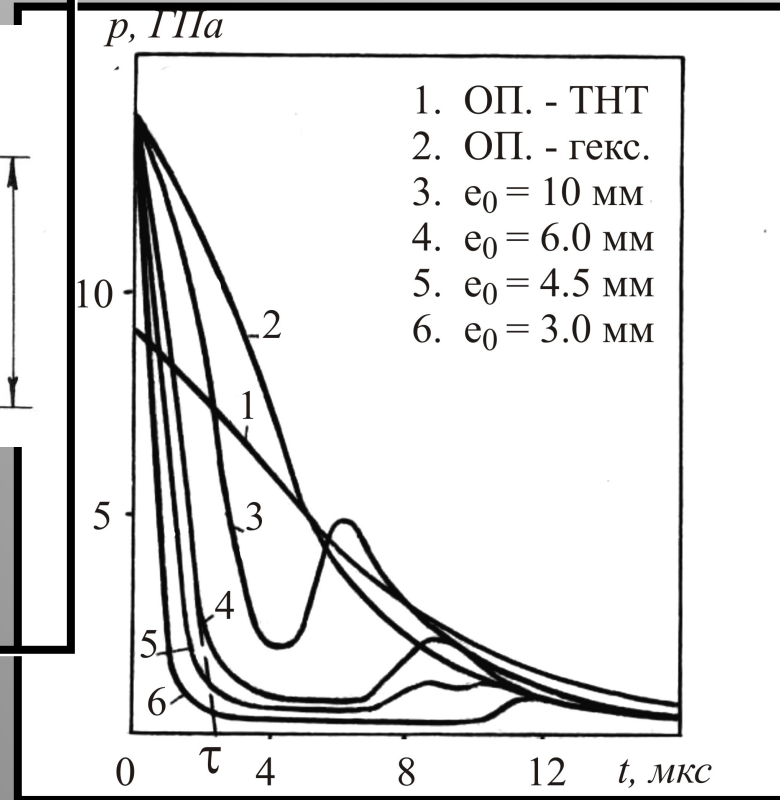
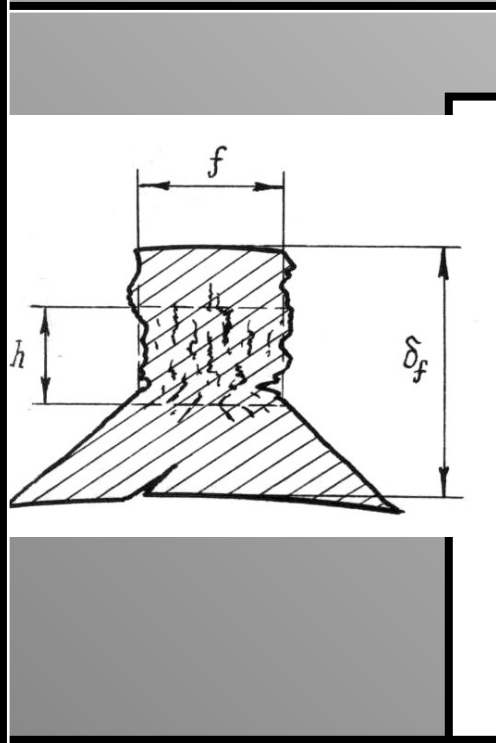
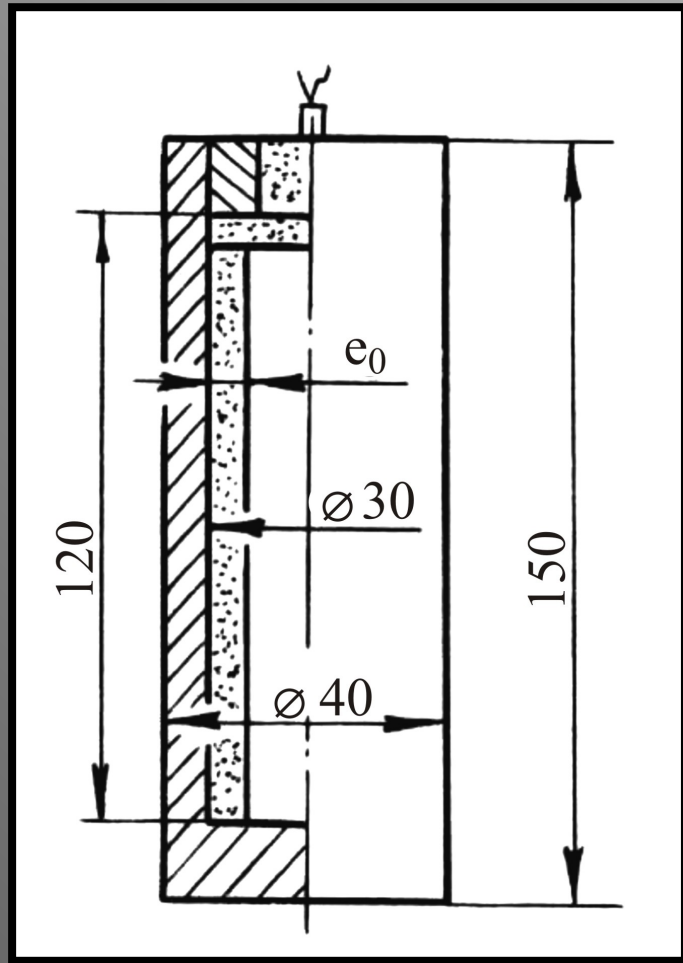
е

а-д – сталь 45, е – сталь 10;

толщина стенки: а,б,д,е – 1.0 мм, в – 0.5 мм, г – 0.2 мм;

заряд ВВ: а – гексоген ($\rho_0=1.0$ г/см³, $D=5600$ м/с), б – А-IX-1 ($\rho_0=1.64$ г/см³, $D=8300$ м/с), в,г – смесь гесогена с мипорой ($\rho_0=0.5$ г/см³, $D=4050$ м/с), д – смесь аммиачной селитры с алюминием ($\rho_0=0.8$ г/см³, $D=3030$ м/с), е – порох «Сокол» в режиме детонации ($\rho_0=0.64$ г/см³, $D=3450$ м/с)

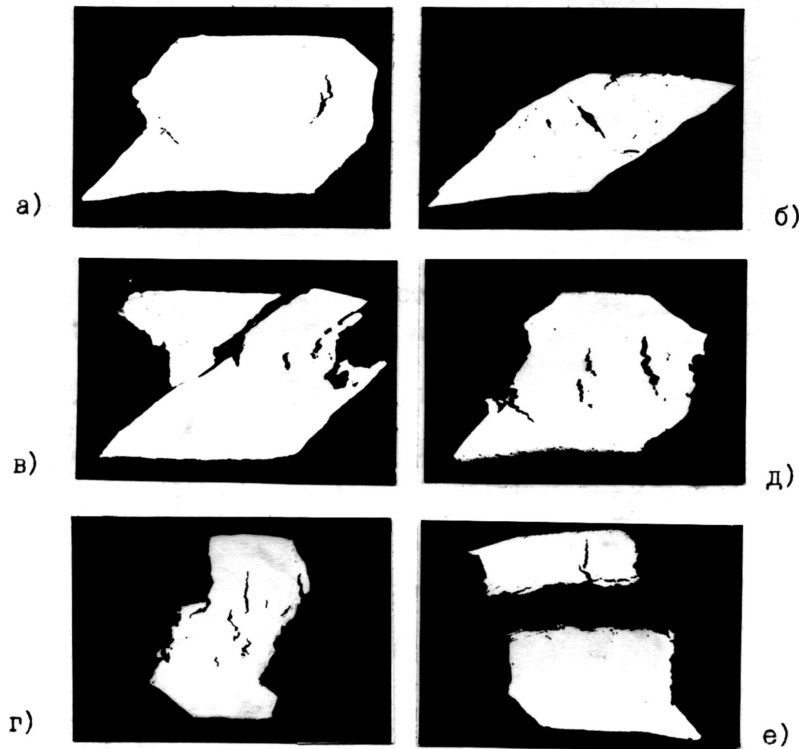
Скользящий детонационный фронт. Полые заряды ВВ.



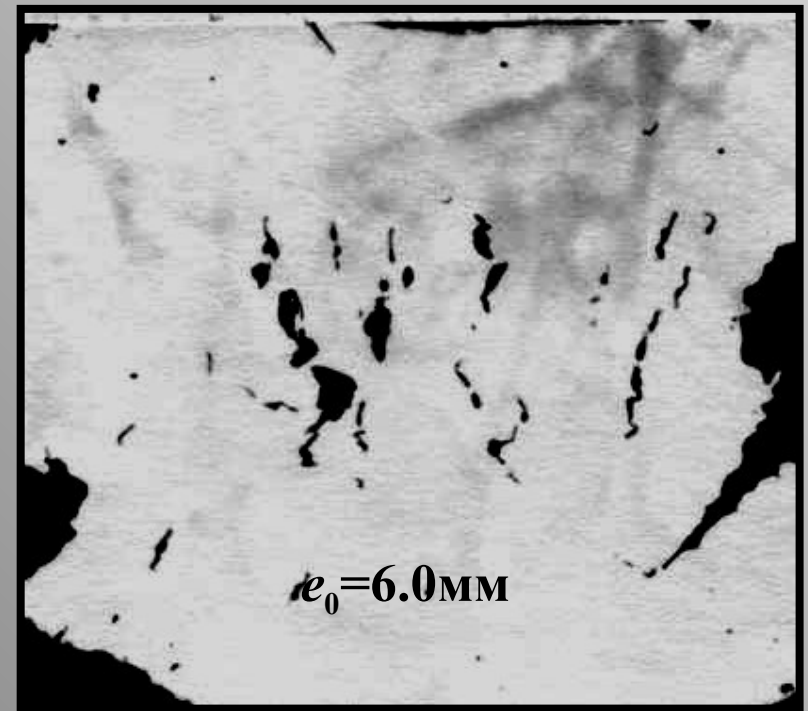
$$\frac{dp}{dt} = 1.5 \dots 8.5 \text{ ГПа} / \text{мкс}$$

Скользящий детонационный фронт. Полые заряды ВВ.

Материал оболочки - сталь 60
ВВ - флегм. гексоген



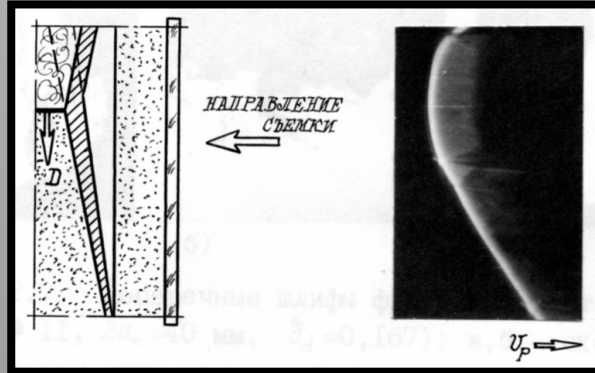
а – сплошной заряд, ТНТ;
б – сплошной заряд А-IX-;
в – $e_0 = 10.0$ мм;
г – $e_0 = 6.0$ мм;
д – $e_0 = 4.5$ мм;
е – $e_0 = 3.0$ мм.



Откол возникает при толщине заряда
 $e_0 = 3.0$ мм

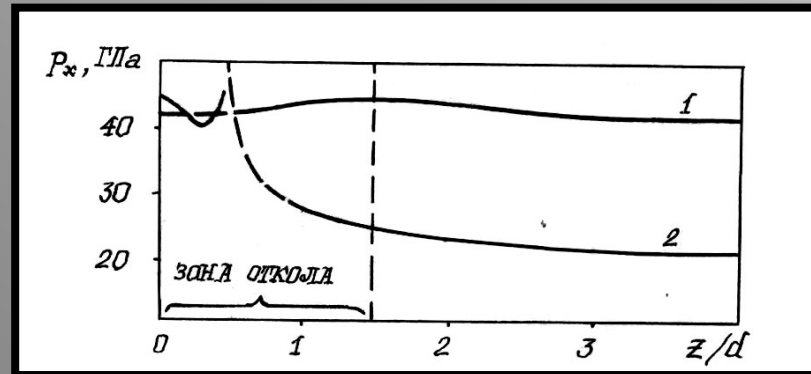
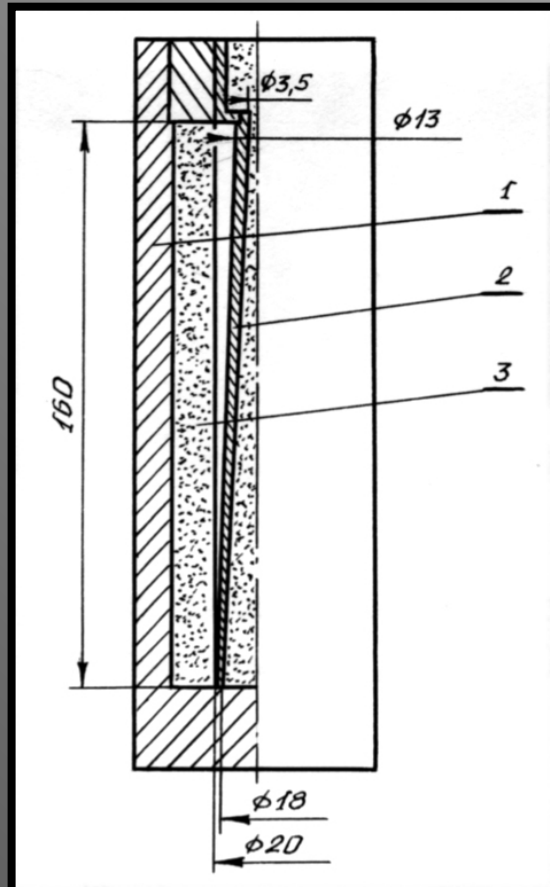
$$\frac{dp}{dt} = 8.5 \text{ ГПа} / \text{мкс}$$

Падающий детонационный фронт.

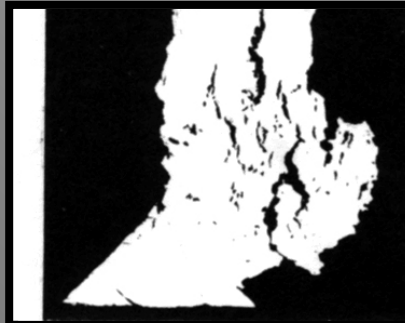


Щелевая съёмка
детонационного
фронта

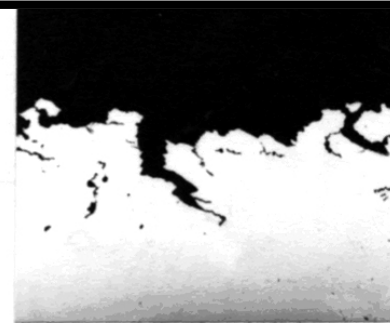
Макет с генератором
цилиндрической волны



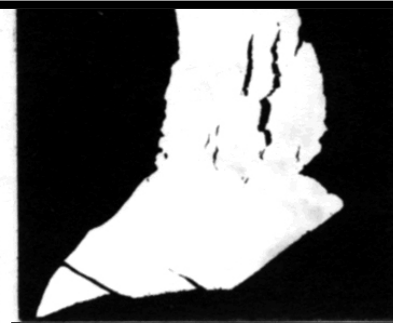
Распределение
давления
ударной волны
по оси оболочки



Фрагмент
головной зоны



Откольная
поверхность



Фрагмент
средней части

Нагружение оболочки кольцевым ударником

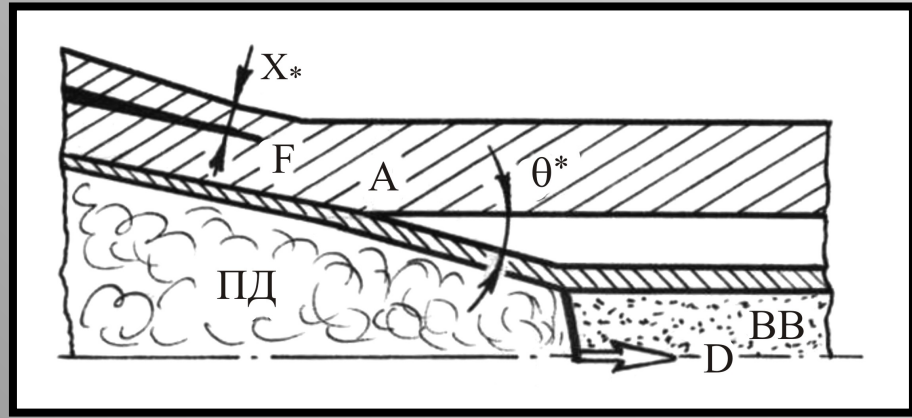
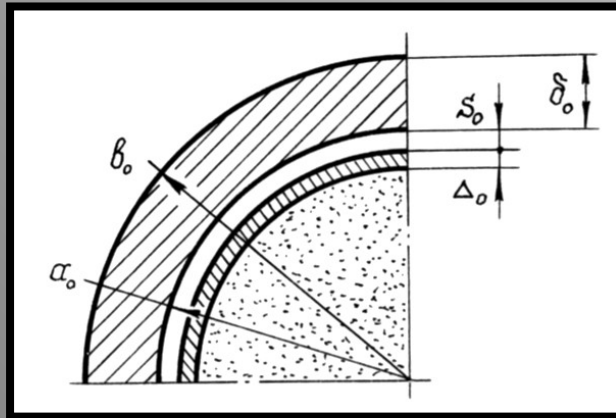
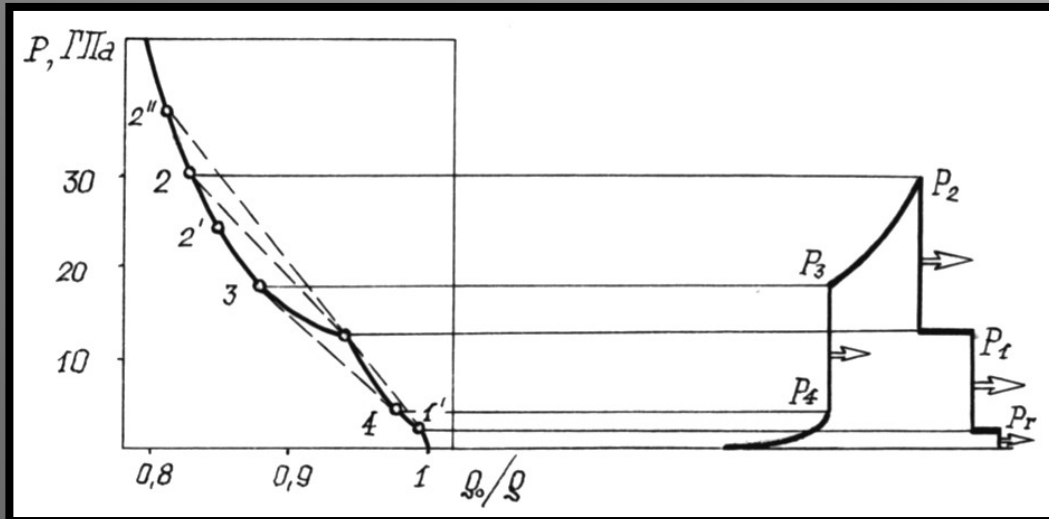


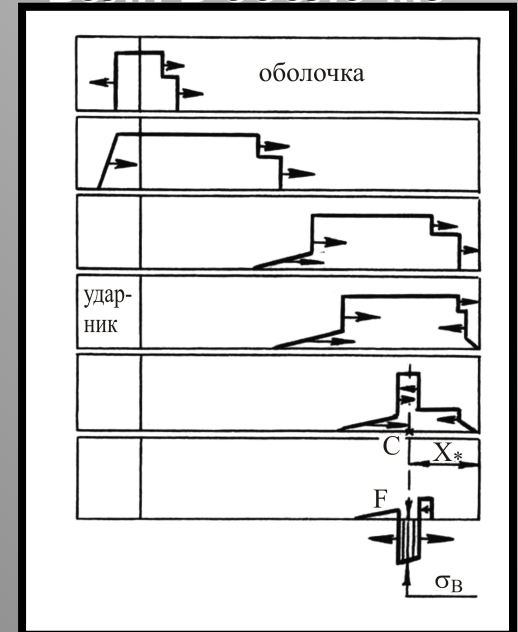
Схема оболочки с кольцевым ударником

Структура ударной волны в оболочке



$$\frac{dp}{dt} = 25 \text{ ГПа} / \text{мкс}$$

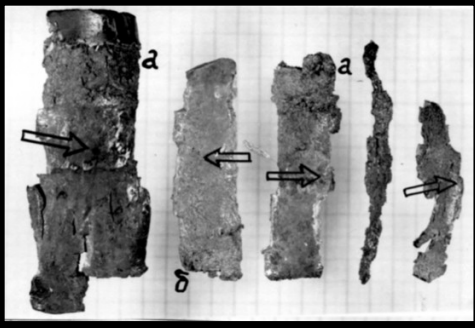
Взаимодействие падающей и отраженной волн в оболочке



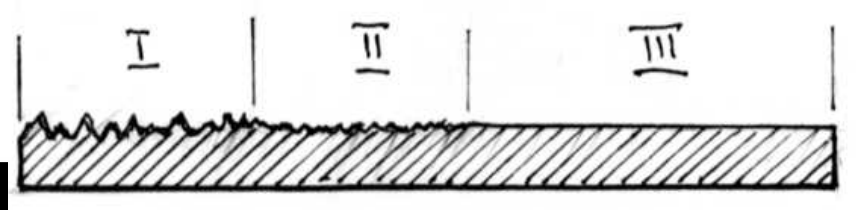
Нагружение оболочки кольцевым ударником

Внешний вид откольных поверхностей

Стальные цилиндрические оболочки

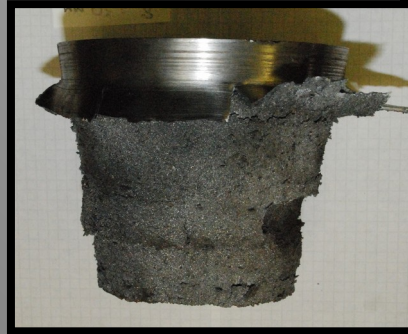
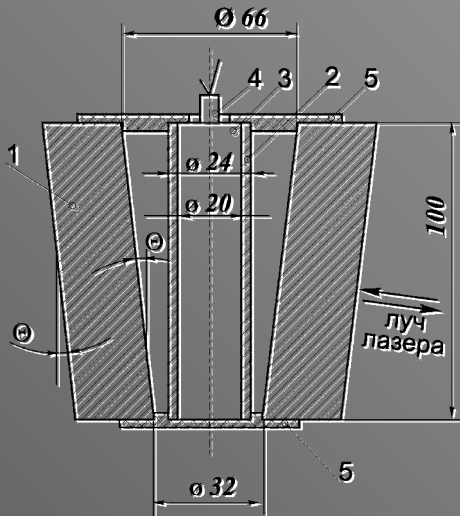


Профиль откольной поверхности



I - зона шероховатого откола
II - зона откола переходного типа
III - зона гладкого откола

Стальные конические оболочки

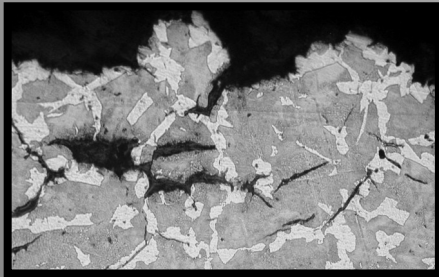


Высота
микронеровностей

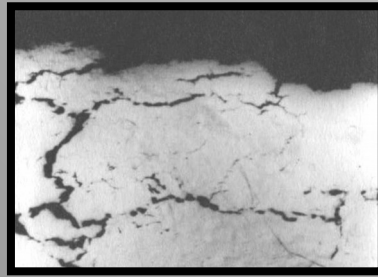
зона I	> 50 мкм
зона II	15...20 мкм
зона III	<10 мкм

Микрорельеф откольных поверхностей

Шероховатый откол



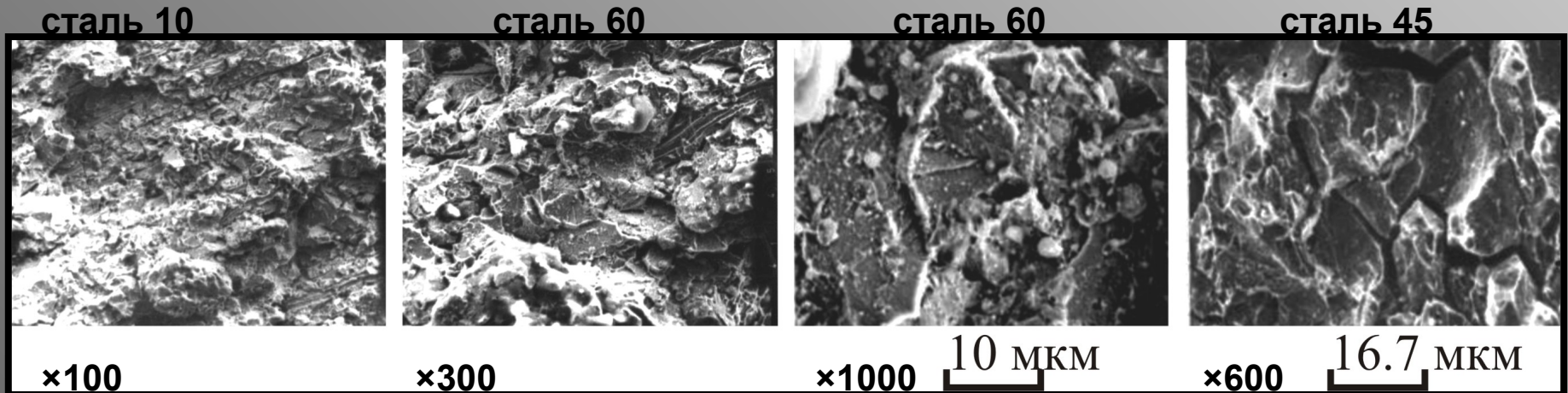
сталь 10



сталь 60

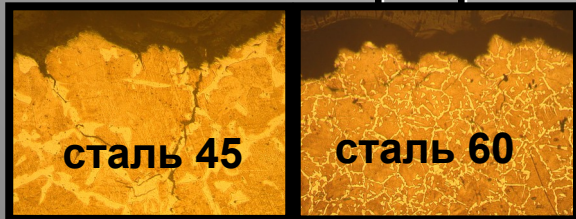


сталь 45



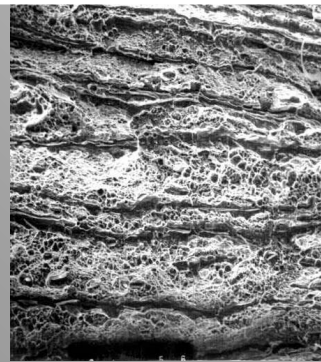
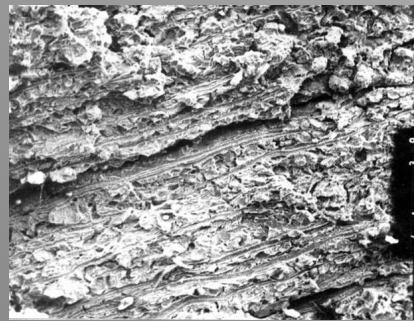
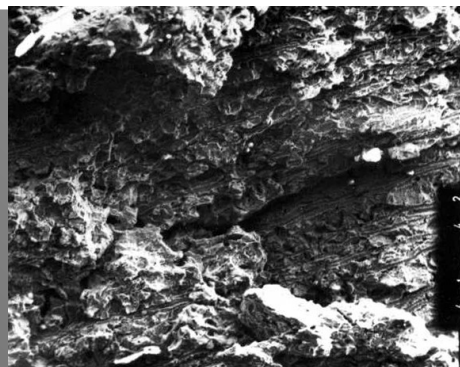
**Основной механизм разрушения
внутри- и межзеренное растрескивание**

Микрорельеф откольных поверхностей

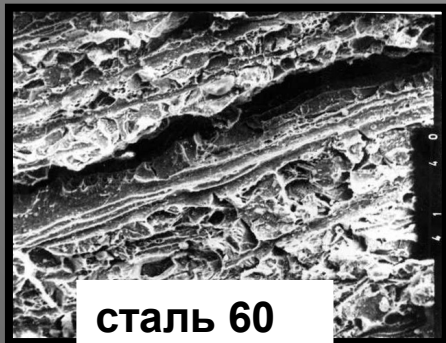


Отколы переходного типа

Зона перехода шероховатого откола в откол переходного типа

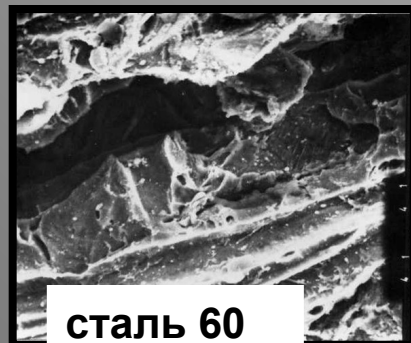


Зона перехода откола переходного типа в гладкий откол



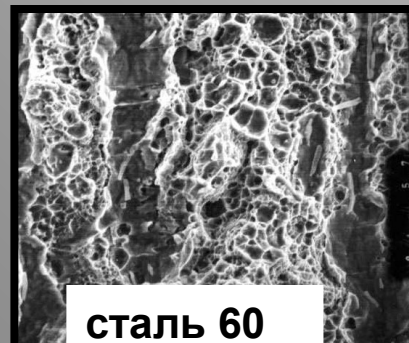
сталь 60

×300



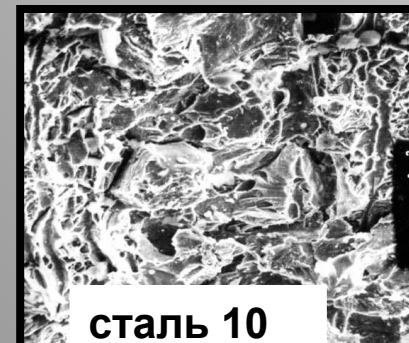
сталь 60

×1000



сталь 60

×1000

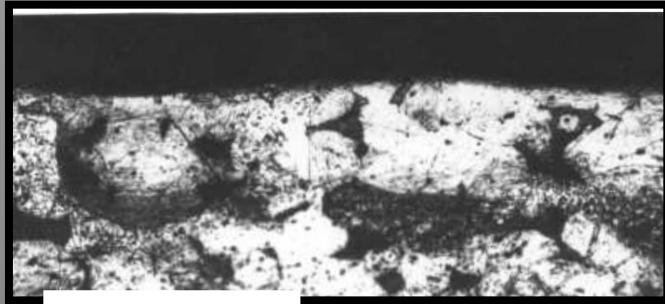


сталь 10

×500

Основной механизм разрушения
вскрытие неметаллических включений с вязким разрушением
промежуточных участков

Микрорельеф откольных поверхностей



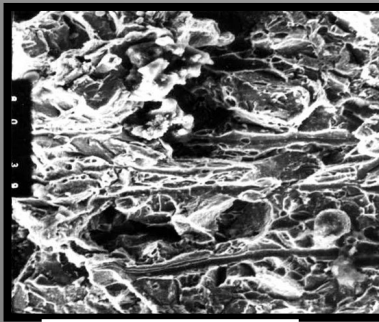
сталь 20

**Гладкие отколы.
Малоуглеродистые стали.**



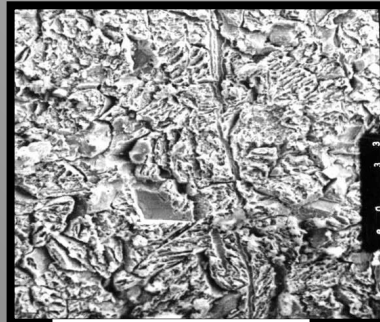
сталь 10

×500



сталь 10

×500



сталь 10

×300



сталь 10

×600

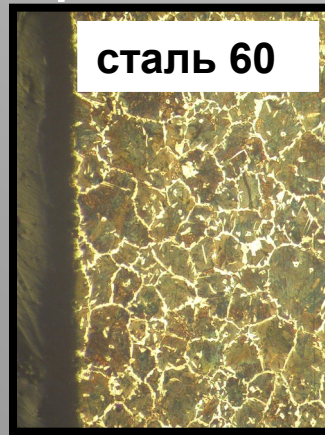
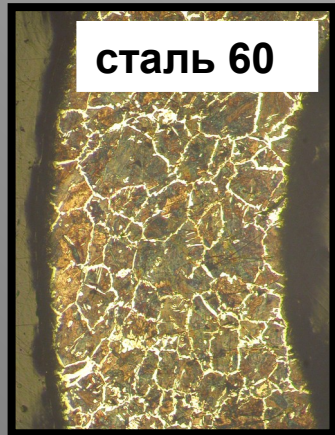


сталь 10

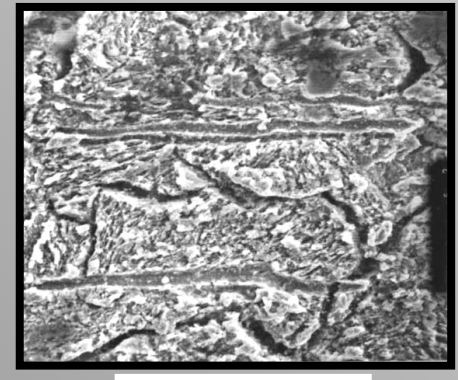
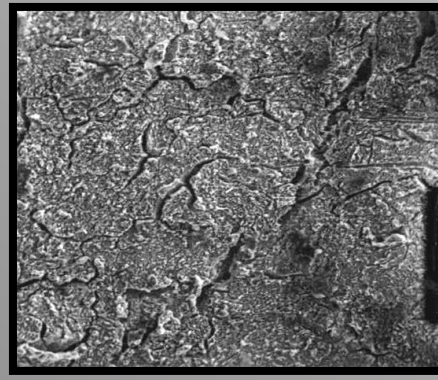
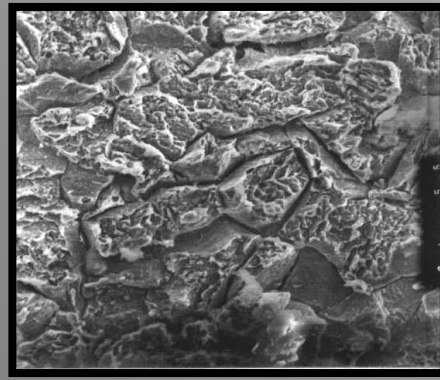
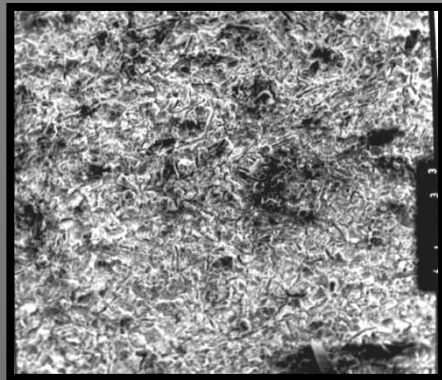
×1500

**Основной механизм разрушения
сквозное разделение материала в узкой зоне (<10 мкм), как по
границам, так и по телу зерен ("пакетного" типа)**

Микрорельеф откольных поверхностей



Гладкие отколы.
Среднеуглеродистые стали.

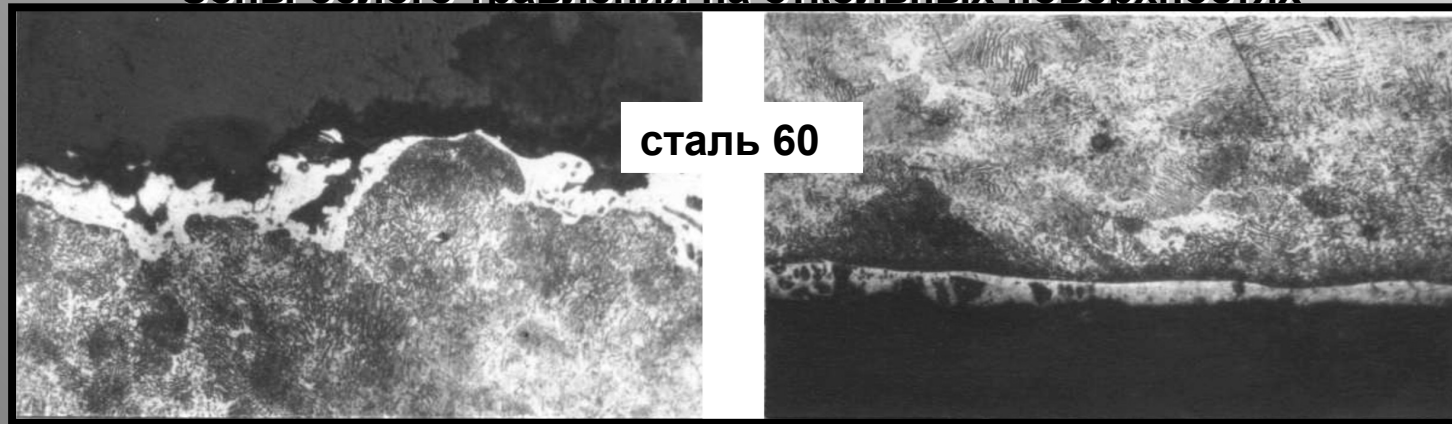


Основной механизм разрушения
сквозное разделение материала в узкой зоне (<10 мкм), как по
границам, так и по телу зерен ("пакетного" типа)

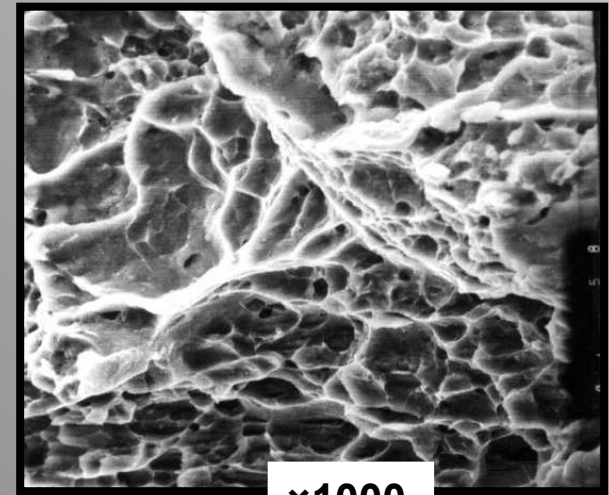
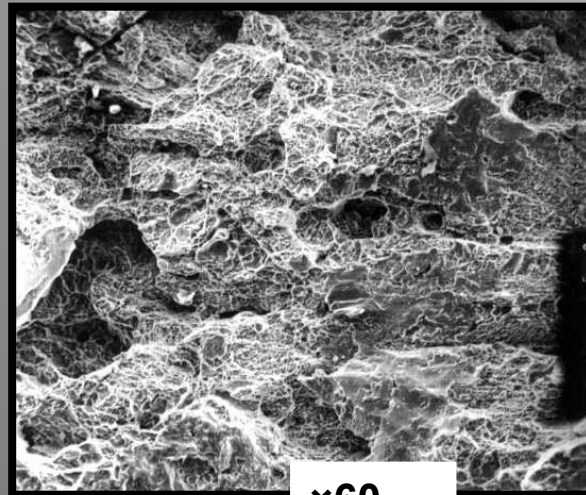
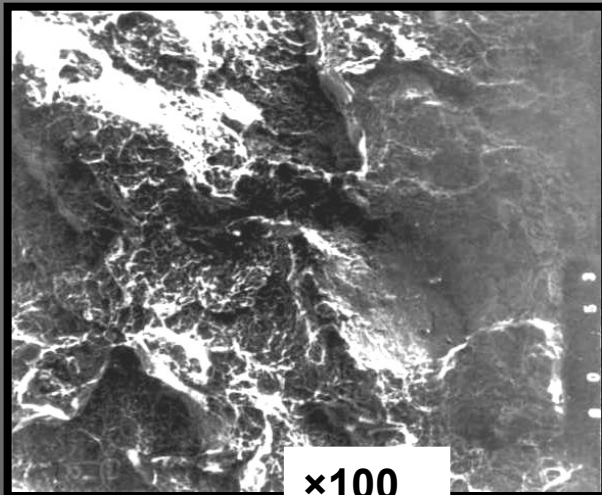
Микрорельеф откольных поверхностей

Особенности микрорельефа

Зоны белого травления на откольных поверхностях

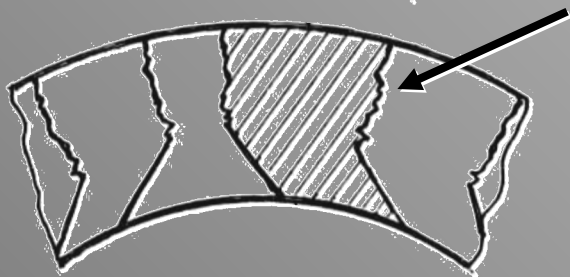


Шероховатые отколы в оболочках из титана (BT-6)

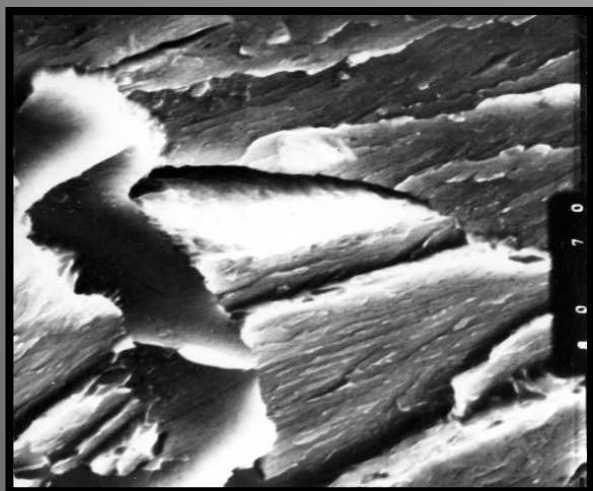


Основной механизм разрушения
вязко-ямочный. Высота микронеровностей до 50 мкм.

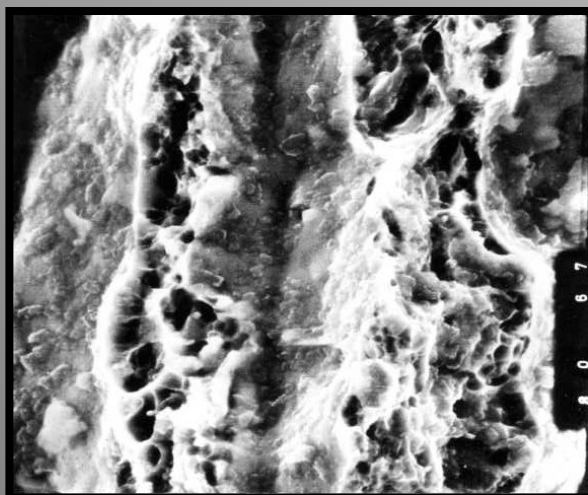
Микрорельеф радиальной трещины на фрагментах оболочек



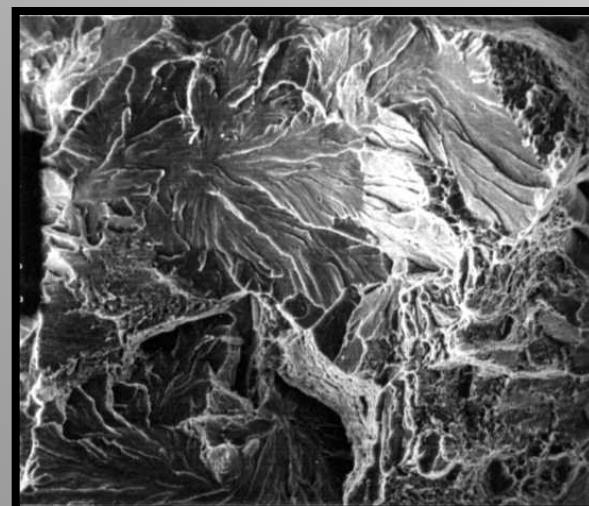
сталь 60



×5000



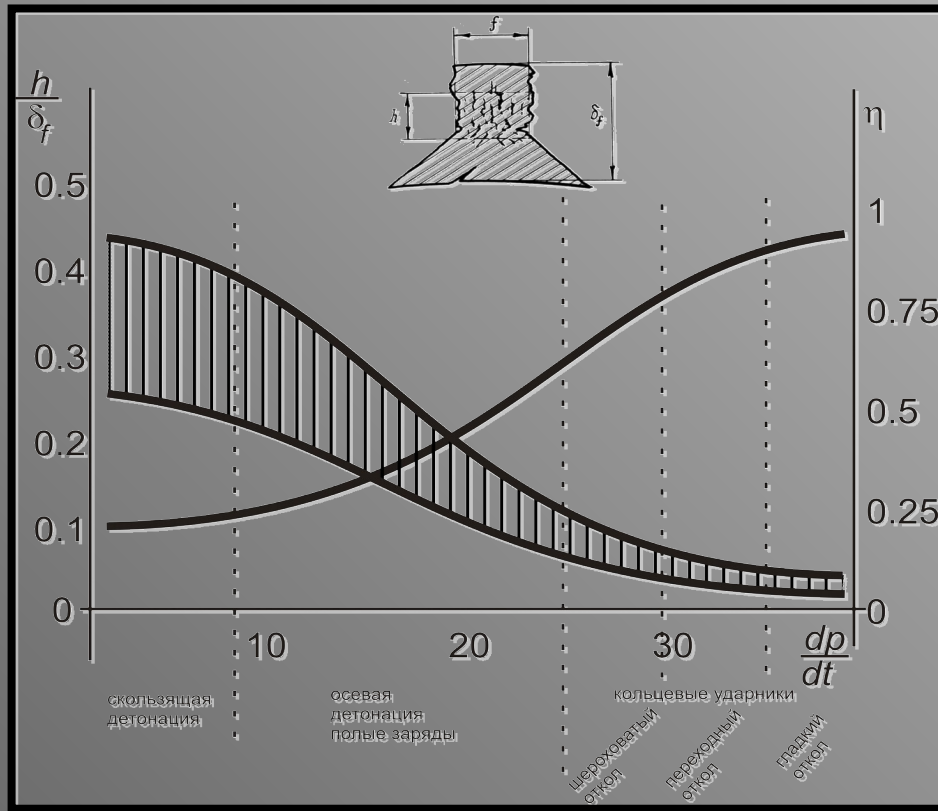
×1500



×500

Основной механизм разрушения в среднеуглеродистых сталях - хрупкое растрескивание зерен перлита с последующим вязким разрушением ферритных прослоек.

Влияние параметров нагружения на характеристики микрорельефа откольных поверхностей



Микростроение изломов при разрушении откольного типа связано со скоростью деформации

- шероховатые отколы $\dot{\epsilon} \approx 10^6 \text{ c}^{-1}$

- гладкие отколы $\dot{\epsilon} \approx 10^8 \text{ c}^{-1}$

- радиально-отрывные трещины при разрушении оболочек $\dot{\epsilon} \approx 10^4 \dots 10^5 \text{ c}^{-1}$

Размер зоны деструкции откольной природы с ростом dp/dt уменьшается, доля вязкой составляющей в изломах с ростом dp/dt - увеличивается.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!