

3. А. И. Петрухин, Ю. Е. Плешанов, В. А. Рыбаков. Письма в ЖТФ, 1977, 3, 4, 158.
4. И. В. Немчинов, Т. И. Орлова. Физика плазмы, 1978, 4, 4, 949.
5. И. В. Немчинов, И. А. Полозова и др. Квантовая электроника, 1979, 6, 6, 1223.
6. И. В. Немчинов, А. И. Петрухин и др. Докл. АН СССР, 1979, 244, 4, 877.
7. И. Э. Маркович, А. И. Петрухин и др. ФГВ, 1979, 15, 4, 30.
8. Л. П. Маркелова, И. В. Немчинов и др. ФГВ, 1979, 15, 4, 37.
9. Г. С. Романов, Ю. А. Станкевич. Докл. АН БССР, 1977, 21, 6, 503.
10. Г. С. Романов, Ю. А. Станкевич.— В сб.: Динамика сплошной среды. Вып. 29. Новосибирск, 1977.
11. Г. С. Романов, Ю. А. Станкевич. Тез. докл. III Всесоюз. конф. по динамике излучающего газа. М., 1977.
12. А. М. Бонч-Бруевич, В. И. Зинченко и др. Тез. докл. IV Всесоюз. совещания по нерезонансному взаимодействию оптического излучения с веществом. Л., 1978.
13. М. А. Ельяшевич, Г. С. Романов, Ю. А. Станкевич. Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по динамике излучающего газа. М., 1980.
14. А. П. Голубь, И. Э. Маркович и др. Деп. ВИНТИ, № 3300-79, 1979.
15. С. И. Анисимов, Я. А. Имас и др. Действия излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970.
16. М. П. Славинский. Физико-химические свойства элементов. М.: Металлургиздат, 1952.
17. О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. ЖВМ и МФ, 1971, 11, 1, 182.
18. Н. М. Кузнецов. Термодинамические функции и ударные адиабаты воздуха при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1965.
19. М. А. Ельяшевич, Ф. Н. Боровик и др. Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по динамике излучающего газа. М., 1980.
20. Ю. П. Райзер. Лазерная искра и распространение разрядов. М.: Наука, 1974.
21. В. И. Бергельстон, Т. В. Лосева, И. В. Немчинов. ПМТФ, 1974, 4, 12.

ОТКОЛ В СТАЛИ

А. Г. Иванов, О. А. Клещевников, В. И. Цыпкин, В. Н. Минеев
(Москва)

Основной источник информации о прочности материалов при экстремально больших скоростях нагружения и малых временах (10^{-8} — 10^{-6} с) действия напряжений — изучение явления откола (разрушения при взаимодействии волн растяжения). Информация, получаемая в экспериментах по отколу, в большинстве случаев относится не к сечению, где происходит разрушение, а к свободной границе, удаленной на толщину откольного слоя. При этом предполагается, что параметры входящего на свободную поверхность падающего импульса сжатия не претерпели каких-либо изменений на пути от сечения откола до свободной границы. Естественно, что такое рассмотрение приближенно справедливо, если материал обладает малым внутренним трением. Для материалов с большим внутренним трением или для условий, приводящих к резкому росту внутреннего трения (перестройка материала за счет возбуждения дополнительных степеней свободы, фазовые переходы, большая пластическая деформация [1]), такое приближение может оказаться неверным и приведет к занижению результатов.

Очевидно, что для исключения такой опасности необходимо знание величины внутреннего трения у материала, подвергнутого ударно-волновому воздействию. Информацию такого рода можно почерпнуть непосредственно из опытов по отколу, если регистрировать затухание во времени упругого импульса, оставшегося в отколовшемся слое материала [2, 3]. Такие опыты проведены и представлены в данной работе.

Интересным и не до конца понятным эффектом является разрушение при готовом отколе. Действительно, до появления растягивающих усилий в плоскости готового откола материал подвергается сжатию ударной волной. На этой стадии процесса должно происходить сближение разделенных плоскостью готового откола участков материала на расстояния порядка межмолекулярного размера и меньше. Поэтому первоначально разделенный материал мишени должен, казалось бы, восстановить свои прочностные свойства и проявлять себя как единое целое. В связи с этим опыты с разрезанными по плоскости ожидаемого откола мишенями, имеющими готовый откол, представляют несомненный интерес и приводятся ниже.

Существующие работы по отколу показывают, что даже при близких схемах, интервалах времени и интенсивностях нагружения для одного и того же металла различные исследователи получают заметно отличные конечные результаты. Причина здесь кроется не только в различии исходных характеристик используемых металлов (термообработка, примеси, направление прокатки и т. п.), но и в использованных экспериментальных методах и расчетных формулах. Сравнение некоторых методов определения прочности материала при отколе дается ниже.

Постановка опытов

В опытах по отколу осуществлялось плоское соударение движущейся пластины-ударника номинальной толщины $h_1 = 5$ мм и диаметра $d = 76$ мм с неподвижной мишенью. Ударник разгонялся сжатым воздухом в баллистической ударной трубе калибра 76 мм [4]. Мишень с $h_2 = 10$ мм и $d = 90$ мм закреплялась по периметру неподвижно. Часть опытов проведена с готовым отколом. В этом случае мишень также имела толщину 10 мм, но состояла из двух пластин одинаковой толщины (по 5 мм), плотно прижатых друг к другу¹. В отдельных опытах соприкосновение пластин осуществлялось через масло или прокладку из свинцовой фольги толщиной 0,05 мм. Толщина пластин выбиралась, исходя из результатов опытов со сплошной мишенью, где плоскость откольного разрушения разделяла мишень на две равнотолщинные части. Ударники и мишени вырезались из прутка стали ЭИ712 (так, что в опыте растягивающие напряжения были параллельны направлению технологической прокатки) и подвергались термообработке (закалка с 900° в воду и отпуск при температуре $500 \pm 10^\circ$).

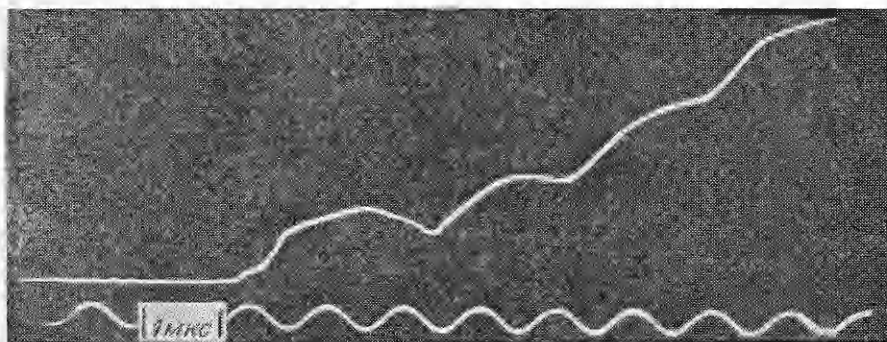


Рис. 1. Типичная осциллограмма записи тока в цепи емкостного датчика (опыт 10).

¹ Фактические толщины ударников и мишеней были меньше номинальных размеров на величину не более 0,06 мм.

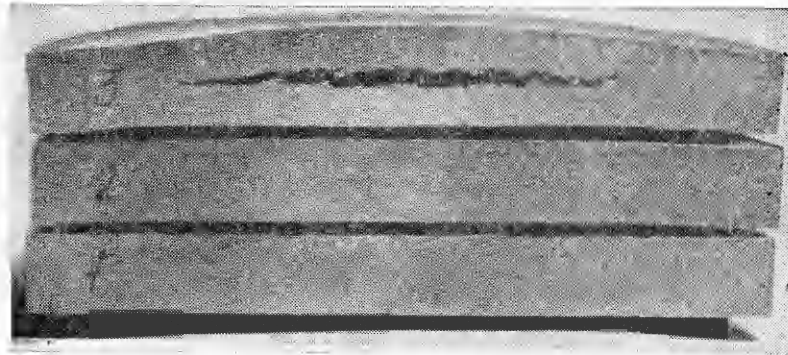


Рис. 2. Откольное повреждение мишеней при скоростях соударения 209 (1), 215 (2) и 258 м/с (3).
1, 2 — отсутствие полного отделения откольной пластины; 3 — полное отделение откольной пластины.

Механические свойства стали ЭИ712 после термообработки: условный предел прочности $\sigma_b = 81,2$ кг/мм², условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 64$ кг/мм², относительное удлинение образца после разрыва $\delta = 21,9\%$, относительное сужение образца после разрыва $\psi = 66,4\%$, твердость по Роквеллу HRC = $21 \div 24$.

Скорость свободной поверхности во времени $w(t)$ регистрировалась методом емкостного датчика [5]. Центральный электрод датчика имел диаметр 30 мм, а охранное кольцо 42,3 мм, зазор между центральным электродом и мишенью составлял 2 мм, напряжение на обкладках 320 В. Неподвижные электроды емкостных датчиков готовились из фольгированного гетинакса. Оцененная максимальная относительная погрешность измерения $w(t)$ в опытах составляла $\pm 10\%$. Помимо $w(t)$, в каждом опыте электроконтактным методом регистрировалась скорость подлета ударника к мишени w_0 . Максимальная относительная погрешность измерения w_0 была $\pm 2\%$.

Типичная осциллограмма записи, полученная в опыте, приведена на рис. 1. Геометрические размеры ударника, мишени и центрального электрода датчика по меньшей мере в течение 7 мкс при записи $w(t)$ позволяли регистрировать одномерное движение, не осложненное боковой разгрузкой. Сохраненные после опытов мишени для определения степени повреждения и места расположения основной трещины разрезались вдоль плоскости, перпендикулярной свободной поверхности. Плоскость разреза полировалась и подвергалась химическому травлению. Некоторые фотографии разрезанных мишеней приведены на рис. 2.

Результаты опытов и их обсуждение

Экспериментально найденные после машинной обработки осциллограмм емкостного датчика зависимости $w(t)$ приведены на рис. 3, 4. Основные результаты опытов приведены в табл. 1, 2, где w_1 , w_2 , w_3 и w_4 — максимальная скорость свободной поверхности, скорость в первом минимуме, средняя скорость плоскости масс откольной пластины (или всей мишени) и скорость упругого предвестника, T — период колебаний скорости свободной границы мишени, найденный по второму и последующим колебаниям, α — коэффициент затухания скорости свободной границы мишени во времени, Δ — толщина откольной пластины.

Экспериментальные зависимости $w(t)$, как и в [3], аппроксимировались затухающей гармонической функцией

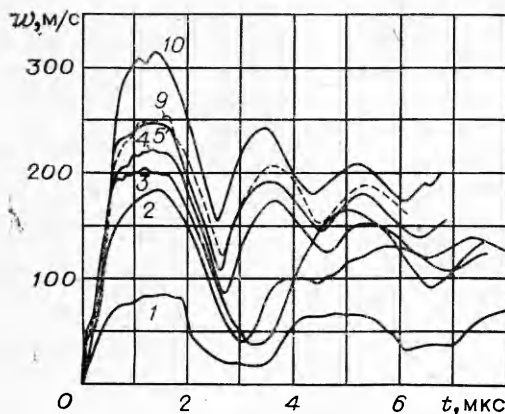


Рис. 3. Профили скорости свободной поверхности мишеней при различных скоростях соударений в опытах с естественным отколом (номера кривых соответствуют номеру опыта).

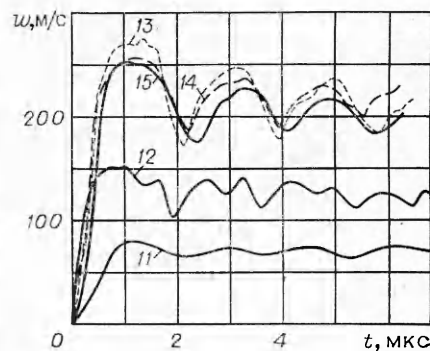


Рис. 4. Профили скорости свободной поверхности мишеней при различных скоростях соударений в опытах с готовым отколом (номер кривых соответствует номеру опыта).

$$w(t) - w_3 = (w_1 - w_3) e^{-\alpha(t-t_0)} \cos \left[\frac{2\pi}{T} (t - t_0) \right].$$

Значение t_0 в каждом опыте находилось из соотношения $t_0 = t_2 - (T/2)$, где t_2 — координата первого минимума скорости, а величины w_3 и α — из условия наилучшей аппроксимации. Точность определения w_3 и α оценивается в 5—10%. Принятая аппроксимация наиболее сильно расходится в области минимумов $w(t)$, где экспериментальная зависимость имеет характер изломов.

Анализ совокупности всех опытов показал, что средние значения w_0 и w_1 , как и следовало ожидать, с хорошей точностью совпадают. Это дает основание отождествить их и заменить одной усредненной величиной v_1 . При усреднении величинам w_0 и w_1 приписывались «веса», обратно пропорциональные их максимальным погрешностям, согласно соотношению

$$v_1 = (5w_0 + w_1)/6.$$

Замена величины w_1 на v_1 позволяет провести корректировку всей зависимости $w(t)$, в том числе и w_2 , w_3 и w_4 , так как основной источник погрешности при регистрации $w(t)$ заключался в неточности установки

Таблица 1
Результаты опытов по естественному отколу в стали ЭИ712

Номер опыта	w_0 , м/с	Δ , мм	w_1 , (v_1), м/с	w_2 , (v_2), м/с	w_3 , (v_3), м/с	w_4 , (v_4), м/с	T , мкс	α , мкс ⁻¹	$Q^{-1} \cdot 10^2$
1	86	Откола нет	88 (86)	22 (20)	52 (48)	—	3,5	0,2	0,22
2	209	То же	205 (208)	38 (39)	108 (110)	52 (53)	3,4	0,18	0,2
3	215	Начало откола	186 (210)	40 (45)	—	53 (60)	—	—	—
4	227	4,8—5,0	221 (226)	86 (88)	136 (139)	48 (49)	1,76	—	—
5	246	4,8—5,1	247 (246)	108 (107)	162 (161)	—	1,72	0,43	0,24
6	247	4,9—5,0	260 (249)	114 (115)	—	54 (55)	—	—	0,24
7	256	4,9—5,0	250 (255)	102 (104)	—	—	—	—	0,24
8	255	4,9—5,1	252 (255)	104 (105)	—	55 (56)	—	—	0,24
9	258	5,0—5,1	253 (257)	121 (123)	170 (173)	46 (47)	1,81	0,48	0,28
10	320	4,9—5,0	315 (319)	153 (155)	195 (198)	54 (55)	1,74	0,58	0,32

Таблица 2

Результаты опытов с готовым отколом в стали ЭИ712

Номер опыта	Прослойка	w_0 , м/с	w_1 , (v_1), м/с	w_2 , (v_2), м/с	w_3 , (v_3), м/с	T , мкс	α , мкс ⁻¹	$Q^{-1} \cdot 10^2$
11	Сухой. контакт	82	80 (82)	65 (67)	73 (74)	1,67	0,022	0,01
12	Масло	146	152 (147)	104 (101)	124 (120)	1,74	—	—
13	»	255	274 (258)	173 (163)	217 (204)	1,77	0,35	0,2
14	Свинцовая фольга	264	256 (263)	177 (182)	205 (211)	1,73	0,3	0,17
15	Сухой контакт	260	253 (259)	174 (178)	207 (212)	1,7	0,35	0,19
16	То же	266	272 (267)	193 (189)	225 (221)	1,68	0,37	0,2

начального расстояния (2 мм) между обкладками емкостного датчика. Корректировка $w(t)$ осуществлялась умножением на величину v_1/w_1 . Найденные значения $v_1 - v_2$, соответствующие $w_1 - w_2$, также приведены в табл. 1, 2.

Величина T в случае сплошной мишени зависит от v_1 , а по существу — от реализации откола. Так, при $v \leq 208$ м/с (опыты 1, 2) значение T примерно равно удвоенному времени пробега продольной звуковой волны по всей толщине мишени. В сохраненных после опытов мишенях не обнаружено макроскопических повреждений. При $v_1 \geq 226$ м/с (опыт 4) период колебаний изменяется скачком и также совпадает с удвоенным временем пробега продольной звуковой волны по толщине откольной пластины. В опытах 4, 5, 9, 10 имело место макроскопическое отделение откольной пластины (см. рис. 2). В одном из опытов при $w_0 = 215$ м/с, близкой к граничному значению откола, наблюдалась аномальная картина $w(t)$ (опыт 3), что, по-видимому, связано с развитием разрушения в плоскости откола. В опытах с готовым отколом период T независимо от w_0 совпадает с удвоенным временем пробега звуковой волны по толщине пластины готового откола. Средняя скорость циркуляции колебаний в мишени или отколовшемся слое (опыты 1, 2, 4, 5, 9—16) равна 5,75 км/с, что близко к скорости продольной упругой волны.

При близких значениях v , величина α , определенная как $\alpha = (T)^{-1} \ln(w_n/w_{n+1})$, где w_n и w_{n+1} — скорости свободной границы пластины в n и $n+1$ максимумах, падает с уменьшением амплитуды $\Delta v = v_1 - v_2$. Так, при переходе от мишени готового откола (опыт 11, $\Delta v = 15$ м/с) к сплошной мишени номинальной толщины 10 мм (опыт 1, $\Delta v = 66$ м/с) α возрастает примерно на порядок, а внутреннее трение $Q^{-1} = (\pi)^{-1} \ln(w_n/w_{n+1})$ увеличивается в 20 раз. При дальнейшем росте Δv с 66 до 164 м/с (опыты 1 и 10) и увеличении скорости соударения с 86 до 319 м/с α растет от 0,2 до 0,58 мкс⁻¹, а Q^{-1} лежит в интервале 0,32—0,22.

При $v_1 = \text{const} \sim 260$ м/с v_3 заметно меньше, а затухание колебаний происходит быстрее в случае естественного откола ($\alpha = 0,48$ мкс⁻¹), чем при готовом отколе ($\alpha \approx 0,34$ мкс⁻¹). Такое явление связано с различными величинами Δv и частично может быть объяснено влиянием на величину α шероховатости поверхности естественного откола.

Перейдем к анализу процессов, происходящих при соударении. Как следует из экспериментов, от плоскости соударения ударника с мишенью расходятся двухволновые конфигурации — упругие волны интенсивностью $v_4 = 54$ м/с и пластические волны сжатия. Отражение этой конфигурации волн от свободной границы ударника или мишени генерирует распространяющуюся в обратном направлении упругую и пла-

стическую волны разрежения. Как показывает анализ $x-t$ -диаграмм, при $1,25 h_1 \leq h_2$ до прихода первой волны разрежения со стороны мишени на границу мишень — ударник последний оказывается полностью разгруженным и находится в покое². Приход же этой волны приводит к отделению мишени, так что весь первоначальный импульс и кинетическая энергия оказываются в мишени.

Если v_1 мало и откола нет, то при $h_2 = 2 h_1$ $v_3 = 0,5 v_1$ (опыты 1, 2), и энергия поровну распределена на движение плоскости масс мишени и циркулирующую из упругой в кинетическую и обратно колебательную энергию мишени, которая постепенно диссипирует вследствие внутреннего трения. Если происходит откол, то первоначальное количество движения распределяется между отколовшимся слоем Δv_3 и оставшейся частью мишени $(h_2 - \Delta)v_5$, так что

$$v_1 h_1 = (h_2 - \Delta)v_5 + \Delta v_3. \quad (1)$$

Первоначальная энергия ударника частично расходуется на движение плоскостей масс разделившихся частей мишени (со скоростями v_3 и v_5), а остаток ее (E_k) — на работу разделения мишени при отколе (λ) и волновое движение в каждой из частей мишени. Баланс энергии записывается в виде

$$\frac{\rho h_1}{2} v_1^2 = \rho \frac{\Delta v_3^2}{2} + \frac{\rho (h_2 - \Delta) v_5^2}{2} + E_k. \quad (2)$$

Полагая $\Delta = 0,5 h_2$, что с хорошей точностью реализуется в эксперименте, и учитывая, что $h_2 = 2 h_1$, из уравнений (1) и (2) находим

$$E_k = \rho h_1 (v_1 - v_3) v_3. \quad (3)$$

Очевидно, что $E_k \geq \lambda$, и величину E_k можно рассматривать как верхнюю оценку значения λ .

Поскольку v_5 не может быть больше v_3 , интервал изменения v_3 определяется из уравнения (1)

$$v_1 \geq v_3 \geq v_1/2,$$

при этом

$$0 \leq E_k \leq \frac{v_1^2}{4} \rho h_1.$$

Случай $v_3 = v_1$ может реализоваться, когда работа по разрыву материала равна нулю. Такую ситуацию следовало бы ожидать в опытах с готовым отколом, когда ударник прилипает к остатку мишени и останавливается, передавая всю энергию слою готового откола.

В другом крайнем случае ($v_3 = v_5 = v_1/2$) откольный слой и остаток мишени движутся вместе, в E_k заключена половина первоначальной энергии ударника, т. е. для данной скорости наиболее благоприятные условия для откола. Таким образом, отношение v_3/v_1 характеризует отличие v_1 от ее критического значения, при котором происходит откол.

При акустическом рассмотрении этой задачи, полагая, что разрушение происходит мгновенно, v_3 и упругая энергия мишени E , которая может быть израсходована на откол, определяются моментом разрушения

$$v_3 = v_1 (1 - ct/2h_1), \quad (4)$$

$$E = \frac{\rho v_1^2}{4} ct. \quad (5)$$

² Фактически, с учетом различия адиабат Гюгонио и Пуассона, $v \neq 0$, но $v \ll v_1$. Однако этим эффектом пренебрежем.

Таблица 3

Прочность стали при естественном и готовом отколах

Номер опыта	v_1 , м/с	$\dot{\varepsilon} \cdot 10^{-4}$, с ⁻¹	σ_{p1} , ГПа	σ_{p2} , ГПа	E , Дж	Номер опыта	v_1 , м/с	$\dot{\varepsilon} \cdot 10^{-4}$, с ⁻¹	σ_{p1} , ГПа	σ_{p2} , ГПа	E , Дж
3	210	—	3,0	—	—	9	257	2	2,4	3,0	42
4	226	—	2,5	3,2	—	10	319	2	3,0	4,4	75
5	246	2	2,5	3,1	41	11	82	—	0,27	0,29	0,94
6	249	—	2,4	—	—	12	147	—	0,83	0,98	7,7
7	255	—	2,7	—	—	13	258	1,7	1,7	2,0	27
8	255	—	2,7	—	—	15	259	1,3	1,5	1,7	24
						14	263	1,2	1,5	1,9	27
						16	267	1,4	1,7	1,7	24

Здесь c — скорость звука; t — время, отсчитанное от момента пересечения волн разрежения в мишени. Максимальное значение E достигается в момент h_1/c , когда вся мишень находится в растянутом состоянии. Значение E оказывается таким же, как E_k в формуле (3) при одинаковых значениях $v_3 = v_1/2$. Исключая ct из уравнений (4) и (5), получаем

$$E = \rho h_1/2 \cdot (v_1 - v_3)v_1. \quad (6)$$

Величина E , найденная согласно (6), с меньшей погрешностью может быть принята как верхняя оценка λ , чем E_k , так как содержит только энергию, которая может быть затрачена целиком на откол. Вычисленные по (6) значения E приведены в табл. 3. Оказалось, что величины E для готового откола малы только при низких значениях v_1 , а с увеличением v_1 различия в E между опытами с готовым и естественным отколом менее 2.

Данные табл. 1, 2 позволяют определить значения напряжения, при котором происходит откол σ_p , а также скорость деформации материала [3] $\dot{\varepsilon} = (2c_0)^{-1} \cdot dw/dt$ при переходе к первому минимуму, т. е. в области откола. Значения σ_p определены двумя принятыми в литературе способами по формулам:

$$\sigma_{p1} = \rho c_0[(v_1 - v_2)/2], \quad (7)$$

$$\sigma_{p2} = \rho c_0(v_1 - v_3). \quad (8)$$

Здесь c_0 — объемная скорость звука для железа, равная 4,64 км/с [3].

Рассчитанные величины σ_{p1} , σ_{p2} и $\dot{\varepsilon}$ сведены в табл. 3. Обработка осциллограмм способом, предложенным в работе [6], дает значения σ_p примерно на 20% меньше, а с учетом упругопластической поправки [9] на 10—20% больше [10], чем найденные по формуле (7). Сравнение значений σ_p по естественному (опыты 5, 9, $\bar{v}_1 = 252$ м/с) и готовому (опыты 13—16, $\bar{v}_1 = 262$ м/с) отколам показывает, что при таком подходе без учета специфики распространения упругопластических волн [7] прочность готового откола оказывается всего в 1,7—1,9 раза меньше, чем при естественном отколе. Близкое значение (1, 6) получается и при сравнении величин E . В опытах 13—16 изменялась прослойка между пластинами готового откола, однако заметного влияния ее на прочностные характеристики при отколе не обнаружено.

По первому впечатлению результаты опытов с готовым отколом ставят под сомнение ранее сделанное предположение при выводе формул (1), (2), что скорость ударника падает до нуля при выходе первой характеристики волны разрежения на границу ударник — мишень. Однако если учесть, что ударник пролетает несколько метров в атмосфере с давлением порядка гигапаскалей, то при соударении он оказы-

вается отделенным от мишени сжатым воздухом в $\sim 10^6$ молекулярных слоев, и такое предположение остается правдоподобным.

С уменьшением v_1 значение σ_p при готовом отколе резко падает (ср. опыты 13—16 с 11, 12). В свете изложенного найденные в работе [2] значения σ_p для алюминиевого сплава Д-16 и меди по разности скоростей (v_3) готового и естественного отколов не верны.

Интересно отметить необычный характер $w(t)$ в опыте 12. Причина такого поведения до конца не ясна. Величина динамического предела текучести исследуемой стали σ_d вычислялась по формуле

$$\sigma_d = 1/2 \cdot (1 - 2\nu)/(1 - \nu) \cdot \rho_0 c_l v_4, \quad (9)$$

где $\bar{v}_4 = 54$ м/с; $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона; c_l — скорость продольных звуковых волн, равная $5,95 \cdot 10^3$ м/с; $\rho_0 = 7,8$ г/см³. Найденное по (9) $\sigma_d \simeq 72$ кг · с/мм², а $\sigma_d/\sigma_{0,2} \simeq 1,1$.

Различие в величинах σ_p , определенных в [3] и при обработке данных по формулам (7) и (8), вызвано неучетом затухания импульсов по мере их распространения. Этим же объясняется и различие в σ_{p1} и σ_{p2} . Так, используя соображения, приведенные в [8], где, по-видимому, впервые учтено затухание, следует ожидать, что формула (7) должна более правильно отражать прочность материала при $\alpha \neq 0$, чем (8). С ростом v_1 и α последняя должна давать все более завышенные результаты (см. табл. 3, опыт 10). При $\alpha = 0$ формулы (7) и (8) совпадают, так как $v_1 + v_2 = 2v_3$ и $(v_1 - v_2)/2 = v_1 - v_3$.

Таким образом, по мере дальнейшего изучения явления откола раскрывается все более сложная картина разрушения материала, требующая учета новых факторов: упругопластической поправки [3, 9, 10], влияния областей растяжения вне зоны взаимодействия основных пластических волн [11], затухания амплитуд и деформаций форм взаимодействующих импульсов [8], учета уширения зоны разрушения при заметном превышении интенсивностей взаимодействующих импульсов в сравнении с критическим значением [12], необходимость учета эффекта Баушингера и т. д. Возможно на более коротком пути лежат исследования кинетики разрушения и отыскания полуэмпирических зависимостей, развитых в [13, 14]. Нет оснований и для игнорирования энергетического подхода к отколу, феноменологически позволяющего связать это явление с проявлением масштабных эффектов при хрупком разрушении конструкций [15].

Поступила в редакцию
21/XI 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Постников. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1969.
2. С. А. Новиков, И. И. Дивнов, А. Г. Иванов. ФММ, 1966, 21, 4.
3. А. М. Молодец.— В сб.: Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черноголовка, 1978.
4. В. Н. Минеев, В. П. Погорелов и др. ФГВ, 1978, 14, 3.
5. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
6. М. А. Златин, С. М. Мочалов и др. ФТТ, 1974, 16, 6.
7. С. А. Новиков, А. В. Чернов. ПМТФ, 1977, 2.
8. М. А. Иванов. ПМТФ, 1981, 1.
9. Г. В. Степанов. Пробл. прочности, 1976, 8.
10. А. М. Молодец, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1979, 249, 6.
11. С. А. Новиков, А. В. Чернов. ПМТФ, 1977, 2.
12. Г. В. Степанов, В. И. Романченко. Пробл. прочности, 1979, 10.
13. Л. Д. Воловец, М. А. Златин, Г. С. Пугачев. Письма ЖТФ, 1978, 4, 18.
14. D. Cragg, D. Shockey, L. Seaman. J. Appl. Phys., 1973, 9.
15. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев. ФГВ, 1979, 15, 5.