

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ОТКОЛЕ И ДИНАМИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ В АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ

Григорьев А.Ю.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург, Россия, augrigorev@cloud.com*

Сопrotивление металла действию импульсных растягивающих напряжений при откольном разрушении характеризуется амплитудой критических разрушающих напряжений – откольной прочностью [1]. В акустическом приближении откольная прочность определяется из экспериментов по непрерывной регистрации скорости свободной поверхности образцов в соответствии с соотношением

$$\sigma_p = 0,5\rho_0c_0(V_0 - V_m), \quad (1)$$

где ρ_0 – начальная плотность материала; c_0 – объёмная скорость звука; V_0 – максимальная скорость свободной поверхности; V_m – скорость свободной поверхности в первом минимуме зависимости $V(t)$; t – время.

Для материалов с явным проявлением пластических свойств существует несколько соотношений, которые, по мнению их авторов, улучшают соотношение (1) [2]. Однако, в любом случае по всем соотношениям определяется прочность не исходного материала, а материала с дефектами [3]. Поэтому необходим метод, который позволял бы определять критические напряжения при растягивающих усилиях. Таким методом может быть метод Кольского с использованием методики разрезного стержня Гопкинсона (РСГ) [3, 4].

В рамках указанной методики определяется динамический предел прочности по соотношению

$$\sigma_{bd} = \frac{EF}{F_S^0} \varepsilon^T, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга материала РСГ; F_S^0 – исходная площадь сечения образца; F – площадь образца в момент его разрыва; ε^T – деформация образца к моменту разрыва

Анализ формулы (2) показывает, что фактически по данному соотношению определяется истинный динамический предел прочности на разрыв S_{kd} , т.е. $\sigma_{bd} = S_{kd}$. При этом необходимо отметить, что деформация образца при растяжении в условиях экспериментов на РСГ носит сложный характер, непрерывно трансформируется, и в большинстве случаев степень её сосредоточения и градиент распределения оказываются настолько значительными, что приводят к резкому повышению скоростей деформации и изменению напряжённо-деформированного состояния (НДС) [5]. На заключительном этапе растяжения деформация сосредотачивается около одного из сечений и перестаёт быть равномерной, что делает её практически адекватной деформации в условиях откола. Кроме того, многочисленные эксперименты показали, что истинное сопротивление разрыву равно удвоенной величине сопротивления сдвигу [6], а этот факт полностью соответствует теоретическому определению откольной прочности [1].

Поэтому в рамках настоящей работы было проведено экспериментальное сравнение значений σ_p и S_{kd} для алюминиевого сплава АМг61. Испытания на РСГ (диаметр стержня 20 мм) проводили при скорости деформации $=5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Конструкция образца приведена на рисунке 1.

Испытания по определению откольной прочности проводили на экспериментальной установке, основу которой составляла пневматическая пушка калибра 57 мм. Образцы представляли собой диски диаметром 92 мм и толщиной 5 – 6 мм, ударники – диски из того же материала, что и образцы диаметром 56,8 мм.

Толщина образцов находилась в диапазоне 2 – 4 мм. Для регистрации скорости свободной поверхности образца (мишени) применялся интерферометр VISAR.

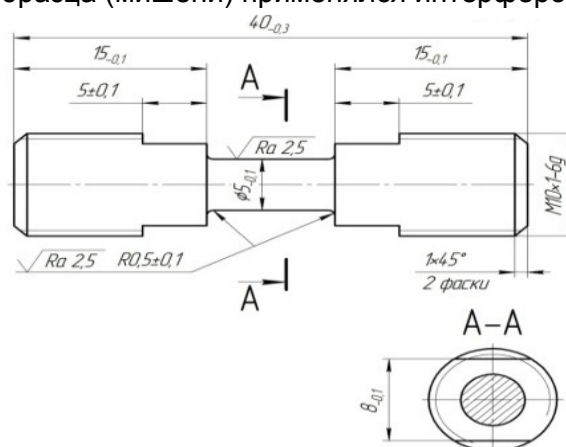


Рисунок 1- Образец для испытаний на РСГ

Результаты испытаний на разрезном стержне Гопкинсона приведены в таблице 1, результаты определения откольной прочности σ_p при различных скоростях удара – в таблице 2. Пример интерферограммы скорости свободной поверхности образца приведён на рис.2.

Таблица 1- Результаты испытаний алюминиевого сплава АМг61 на разрезном стержне Гопкинсона

σ_{bd} , МПа	σ_{sd} , МПа	δ_d , %	ψ_d , %
475/375	250/185	13/19	18/22

Примечания: 1) в столбцах приведены средние результаты по трём испытаниям;
2) в знаменателе приведены статические значения соответствующих параметров.

Таблица 2 - Откольная прочность алюминиевого сплава АМг61

№	Скорость удара V_0 , м/с	Откольная прочность σ_p , ГПа	$\dot{\epsilon}$, c^{-1}
1	170	0,477	$6,4 \cdot 10^5$
2	215	0,380	10^6
3	270	0,561	$7,1 \cdot 10^5$
4	285	0,386	$1,4 \cdot 10^6$
5	320	0,512	$1,1 \cdot 10^6$
6	420	0,547	$1,09 \cdot 10^6$

Примечания: в столбцах приведены средние результаты по трём испытаниям.

Анализ приведенных в таблицах 1 и 2 результатов показывает, что истинное сопротивление разрыву для алюминиевого сплава АМг61 при скорости деформации $5 \cdot 10^3 c^{-1}$ практически полностью совпадает с откольной прочностью при скорости деформации $6,5 \cdot 10^5 - 1,4 \cdot 10^6 c^{-1}$. Данный вывод не распространяется на другие материалы, и полученный результат подлежит проверке на других конструкционных металлах и сплавах.

Подводя итог, можно отметить, что для исследованного сплава откольная прочность оказалась малочувствительной к скорости деформации и совпадает с истинным сопротивлением разрыву при ударном растяжении на разрезном стержне Гопкинсона.

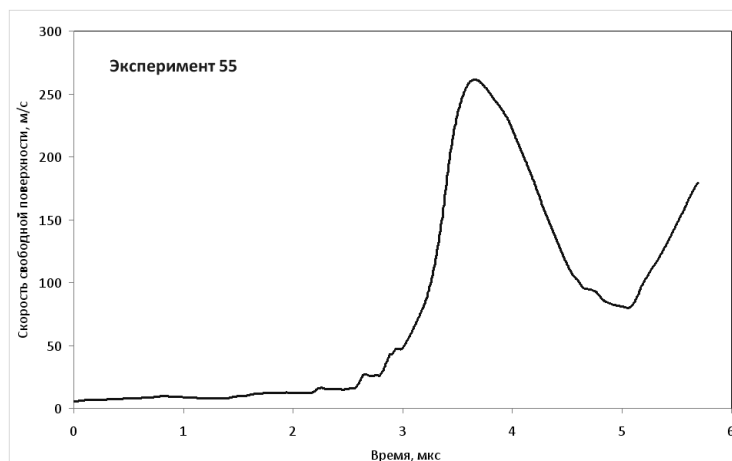


Рисунок 2 - Интерферограмма скорости свободной поверхности образца из сплава АМг61 при скорости удара $V_0 = 270$ м/с

Список литературы

1. Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. Динамическое разрушение твёрдых тел. Новосибирск: Наука, 1979. 254 с.
2. Канель Г.И. Искажение волновых профилей при отколе в упругопластическом теле // Прикладная механика и техническая физика. 2001. Т. 42, № 2. С. 194 – 198.
3. Bragov A.M., Lomunov A.K. Methodological aspects of studying dynamic material properties using the Kolsky method // International journal Impact Engineering. 1995. V. 16. No.2. P. 321 – 330.
4. Савенков Г.Г., Кузнецов А.В., Брагов А.М., Константинов А.Ю., Ломунов А.К. Структурно-геометрические переходы при динамическом нагружении // Вестник ПНИПУ. Механика. 2016. № 3. С. 164 – 174.
5. Савенков Г.Г. Критические напряжения при отколе и динамическом разрыве металлов // Прикладная механика и техническая физика. 2005. Т. 46, № 6. С. 103 – 107.
6. Шапошников Н.А. Механические испытания металлов. М.; Л.: Машгиз, 1951.