

# ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПРЕГРАД ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ПРОБИТИИ ИХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ УДАРНИКАМИ

Захаров В.М., Хорев И.Е.

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Томского государственного университета, г. Томск, Россия,  
[khorev1942@vandex.ru](mailto:khorev1942@vandex.ru)

Титановые сплавы являются широко распространёнными конструкционными материалами, применяемыми в различных областях машиностроения. Высокая прочность сплавов в сочетании с меньшей, чем у сталей, плотностью делает их незаменимыми в условиях интенсивных динамических нагрузок.

Были проведены экспериментальные исследования по взаимодействию высокопрочных стальных ударников с преградами из титанового сплава ВТ-6. Характеристики используемых преград: толщина  $b = 7,6$  мм; удельный вес  $4,36$  сН/см<sup>3</sup>; твёрдость по Бринеллю  $HV 302$ ; предел текучести ( $785 \dots 880$ ) МПа. Высокопрочный стальной ударник имел следующие параметры: диаметр  $6,1$  мм, оживальная головная часть высотой  $h = 11,2$  мм, вес ударника  $5,3$  сН.

Метание ударников производилось из пороховой баллистической установки калибром  $8$  мм, скорость метания (соударения)  $V_0$  изменялась от  $80$  м/с до  $800$  м/с. Скорость ударников определялась индукционными измерителями. Регистрация процесса взаимодействия ударника с преградой осуществлялась двумя импульсными рентгеноимпульсными аппаратами с задержкой  $\Delta t$  срабатывания между ними и высокоскоростной киносъёмкой камерой ждущего типа ЖЛВ-2.

На рис.1 представлены результаты рентгеноимпульсной регистрации и киносъёмки процесса взаимодействия ударника с титановой преградой. Эти результаты показали, что разрушение преграды имеет достаточно сложный, многообразный характер: 1) на начальном этапе процесса ( $5 - 7$ ) мкс имеет место пластическое течение материала преграды при внедрении ударника («прокол»); интенсивного разрушения лицевой и тыльной поверхностей преграды не происходит – позиция 1 на рис. 1; 2) при дальнейшем углублении ударника начинается интенсивное лицевое разрушение преграды («выколы», лицевой откол) и деформирование тыльной поверхности с образованием пластического купола, небольшой «пробки» и откольной тарелки – позиции 3 и 4 на рис. 1; 3) при сквозном разрушении (пробитии) преграды происходит отделение элементов тыльного разрушения преграды (фрагменты откольной тарелки, «пробка», мелкодисперсная фракция осколков) и разлёт элементов лицевого разрушения преграды («выколы», венчик лицевого откола, мелкие осколки) – позиции 5 и 6 на рис. 1.

Эти – лицевой и тыльный (запреградный) потоки осколков – обладают существенной кинетической энергией и могут оказать значительное поражающее воздействие на персонал и системы управления.

С целью наглядного представления деформирования и разрушения преграды была разработана экспериментально-графическая методика оценки стойкости преград в виде обобщённых диаграмм пробития, где наряду с зависимостями глубины проникания ударника в преграду –  $L_b(V_0)$  и деформирования (выпучивания) тыльной поверхности –  $S_b(V_0)$  даны зависимости запреградной скорости  $V_3(V_0)$ . Измерение  $V_3$  производилось с помощью рентгеноимпульсной съёмки. Такая диаграмма пробития для титановой преграды приведена на рис. 2.

На диаграмме пробития отмечены следующие характерные координаты: абсциссы, описывающие состояние тыльной поверхности преграды: НПК – начало образования пластического купола, РПК – разрыв (появление первых трещин) пластического купола, ПТП – предел тыльной прочности (нарушение сплошности преграды), ПСП – предел сквозного

пробития; - ординаты, характеризующие путь ударника в преграде и деформацию её тыльной поверхности:  $(S_b)_{max}$  – максимальная деформация тыльной поверхности,  $(b + h)$  и  $(b + h + S_b)$  – выход ударника из пластического купола. Ордината  $(b + h + S_b)$  соответствует моменту ПСП, когда ударник может удерживаться в преграде лишь силами трения по его цилиндрической поверхности и при дальнейшем небольшом повышении скорости встречи ударник пробивает преграду, имея запреградную скорость  $V_3$ .

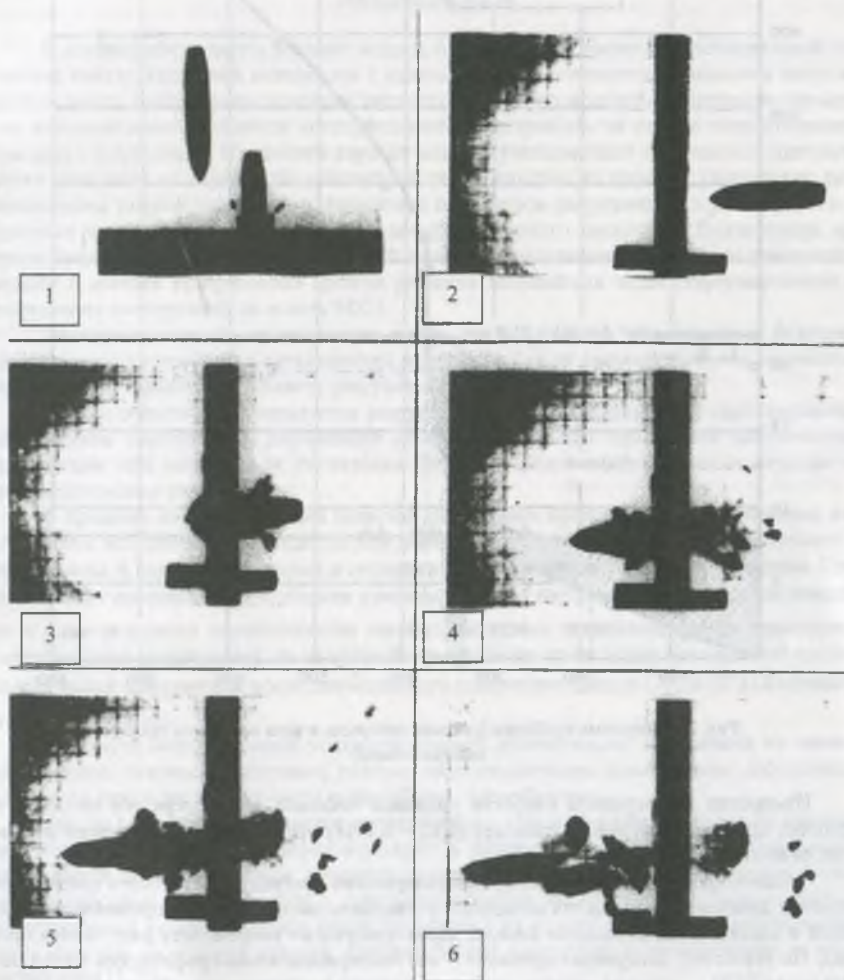


Рис. 1. Рентгенограмма и кинограмма процесса взаимодействия высокоскоростного ударника с титановой преградой при скорости  $V_0 = 793$  м/с

1 – двухэкспозиционная рентгенограмма,  $\Delta t = 30$  мкс; 2, 3, 4, 5, 6 – кинокадры для моментов времени от начала внедрения: (- 7,0), 18,7, 42,1, 63,2, 79,6 мкс соответственно.

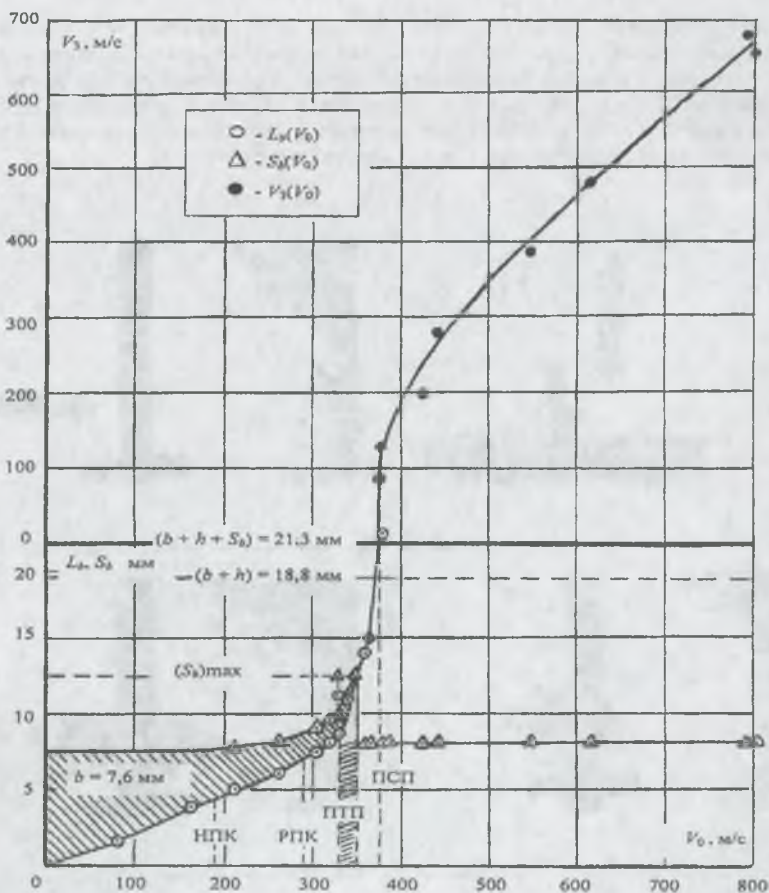


Рис. 2. Диаграмма пробития (сечение преграды и зона «срезания пробки» заштрихованы)

Измерения запреградной скорости ударника показали, что потеря его скорости в процессе пробития преграды составляет  $(0,15 - 0,19)V_0$  для скорости стрелкового диапазона, равной 800 м/с.

Таким образом, проведенный анализ разрушения преград из титанового сплава, построение диаграмм их пробития позволяют установить закономерности проникания ударников и сделать количественные оценки, характеризующие особенности разрушения преград. По существу, диаграммы пробития – это экспериментально-графический метод определения ПСП и, в целом, оценка стойкости преград к ударным воздействиям. Установленная на основе систематических экспериментов эта информация является особенно актуальной, так как получена на реальных материалах в практически важном диапазоне скоростей взаимодействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11 – 08 – 98062).