

- [4] Крутиков В.С. Одномерные задачи механики сплошной среды с подвижными границами. Киев: Наук. думка, 1985. 125 с.
- [5] Математическая энциклопедия / Гл. ред. И.М. Виноградов. М.: Сов. энциклопедия, 1979. Т. 2. 1102 с.
- [6] Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике. М.: Наука, 1978. 688 с.
- [7] Гринберг Г.А. // ПММ. 1967. Т. 31. В. 2. С. 193-203.

Поступило в Редакцию  
7 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

05.1

© 1990

## НЕКОТОРЫЕ ЭФФЕКТЫ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКАНИЯ

С.К. Андилевко, Г.С. Романов,  
С.М. Ушеренко, В.А. Шилкин

Соударение плотного ( $\rho_n \geq 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $U_n \approx 1-3$  км/с) потока частиц ( $d \approx 10^{-5}$  м) с металлической преградой сопровождается появлением эффекта сверхглубокого проникания (СП) [1], при котором некоторая часть ( $\leq 1\%$ ) дискретных микрочастиц проникает в материал мишени на глубины  $\geq 10^3-10^4 d$ .

С целью установления качественной зависимости СП от химического состава преграды и вводимого вещества выполнялась серия экспериментов на металлических преградах из *Fe*, *Cu* и *Ti*. Нагружение осуществлялось порошками *B*, *Si* и их соединений, которые отсутствуют в исходном материале преграды. Регистрация включений в мишени осуществлялась методами микрорентгеноспектрального анализа и активационной нейтрографии.

При обработке образцов из *Fe*, *Cu*, *Ti* порошками силицидов наличие кремния во всех трех материалах зафиксировано до глубины в несколько сантиметров. В аналогичных условиях при обработке этих же преград боридными включениями *B* зарегистрированы только в железе.

Наблюдение процесса взаимодействия метаемых частиц с поверхностью преграды в воздушной среде осложнено масштабом и условиями взаимодействия. Учитывая наличие проникания *B* в *Fe* для рассмотрения особенностей его взаимодействия с другими материалами в дальнейших экспериментах использовались биметалли-

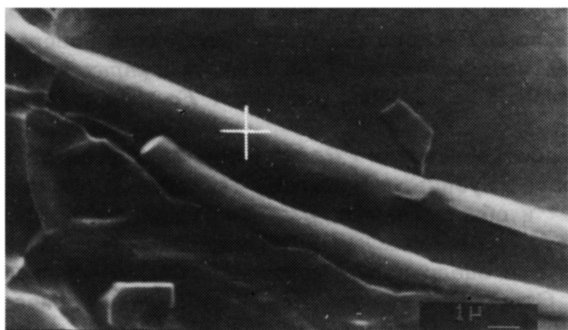


Рис. 1. Структура волокон, образовавшихся при внедрении в железо частиц  $NbV$ .

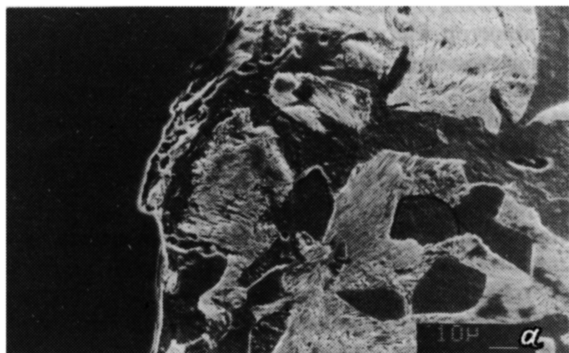


Рис. 2. Структура границы: а -  $Fe-Ti$  , б -  $Fe-Cu$ . Обработка пакета производилась частицами  $NbV$ .

ческие преграды  $Fe-Fe$ ,  $Fe-Cu$  и  $Fe-Ti$ , полученные методом сварки взрывом. Верхняя пластина (свободная поверхность которой нагружалась потоком частиц) во всех преградах выполнялась из железа толщиной  $\approx 10$  мм, нижняя ( $Fe, Cu, Ti$ ) имела толщину  $\approx 3$  мм.

При обработке пакета  $Fe-Fe$ , бор фиксировался в обеих пластинках по всей глубине, в пакете  $Fe-Cu$  включения В присутствовали в  $Fe$  и обнаружены в  $Cu$  на глубинах до 10 мкм, в  $Ti$  (пакет  $Fe-Ti$ ) наличие В не зафиксировано. Структура образовавшихся при внедрении в железо частиц  $NbV$  волокон показана на рис. 1. Структуры границ  $Fe-Ti$  и  $Fe-Cu$  приведены на рис. 2, а и 2, б соответственно.

Более детальное изучение поведения частицы вблизи границы раздела  $Fe-Ti$  (рис. 2, а) позволило установить, что частица, двигавшаяся в  $Fe$  под углом к поверхности  $Ti$   $\alpha \approx 72^\circ$ , начинает уже на расстоянии 40 мкм от границы раздела  $Fe-Ti$  двигаться по криволинейной траектории с радиусом  $r \approx 6 \cdot 10^{-5}$  м, при этом непосредственный контакт частицы с поверхностью  $Ti$  отсутствует. Характер силы, отклоняющей частицу, пока не ясен, в то время как ускорение частицы может быть оценено как  $W = U_*^2/r$  (при  $U_* \approx 800$  м/с [1]  $W \approx 10^7$  м/с<sup>2</sup>). Величина  $W$  характеризует напряженность поля, изменяющего направление движения частицы. Затраты энергии при этом можно оценить как  $\mathcal{E} \approx 5 \times 10^2$  КДж/кг. В результате последующего взаимодействия с поверхностью  $Ti$  частица останавливается.

Приведенные выше экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о том, что имеет место избирательный характер взаимодействия между различными (по химсоставу) парами порошок-преграда, причем это взаимодействие начинается еще до соударения частицы с поверхностью преграды.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Альтшулер Л.В., Андилевко С.К., Романов Г.С., Ушеренко С.М. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 5. С. 55-57.

Белорусское республиканское  
научно-производственное  
объединение порошковой  
металлургии

Поступило в Редакцию  
30 августа 1990 г.