

Эффект сверхглубокого проникания ускоренных взрывом микрочастиц в металлы

Коршунов Л.Г., Зельдович В.И., Хейфец А.Э., Хомская И.В., Черненко Н.Л., Фролова Н.Ю.



Установлено, что явление сверхглубокого проникания может происходить при относительно небольших скоростях и давлениях потока частиц в условиях глубокого охлаждения мишени и частиц, обеспечивающего квазиупругий характер их взаимодействия. Взаимодействие материала мишени с ускоренными взрывом частицами носит преимущественно упругий характер и реализуется в две стадии. Предложена физическая модель, описывающая рассматриваемое явление.

Сверхглубоким прониканием называют внедрение порошковых частиц различной природы (металлы, карбиды и др.) в металлические преграды на глубину до нескольких десятков миллиметров. Ранее С.М. Ушеренко с сотр. были определены условия, при которых реализуется сверхглубокое проникание: размер частиц должен составлять (10-500)мкм, скорость частиц – (0,5-2,5)км/с, время воздействия – (100-200)мкс, плотность потока частиц не менее 1г/см³. В материал преграды проникает небольшая доля (~1%) частиц, разогнанных с помощью взрывного ускорителя.

Проведены исследования структурных изменений в Fe-Ni и Fe-Mn сплавах, меди и сталях с различными кристаллическими структурами (ОЦК, ГЦК и ГПУ), подвергнутых действию высокоскоростного (~1км/с) потока дисперсных (~60 мкм) частиц SiC, Cr и смеси SiC+Ni. В исследованных образцах под действием локальных напряжений ударного сжатия возникают фазы высокого давления и образуются участки с высокой плотностью дислокаций, ячеистой дислокационной структурой, двойниками деформации и областями локализованного течения. Было установлено, что проникшие частицы измельчаются на два-три порядка по сравнению с исходными, причем измельчение на один порядок происходит еще до попадания частиц в материал преграды за счет их дробления при взрывной обработке [1, 2]. Воздействие потока частиц приводит к формированию в металлической мишени значительных объемных сжимающих напряжений, активизирующих развитие в аустенитных сталях механического двойнико-

вания, образование дефектов упаковки, но препятствующих протеканию мартенситного гамма-альфа превращения, характеризующегося положительным объемным эффектом [1, 3, 4].

Обнаружено два типа каналов сверхглубокого проникания, соответствующих двум видам взаимодействия материала преграды с частицами: упругому и упруго-пластическому. Упругий тип взаимодействия является преимущественным. Пластическая деформация локализована в отдельных микрообъемах металла, примыкающих к каналам проникания. Упругое взаимодействие металла мишени с частицами носит двухстадийный характер. На первой стадии под воздействием импульса взрывного нагружения в мишени возникают высокие внешние растягивающие напряжения, приводящие к образованию каналов проникания в виде системы хрупких трещин (рис.1), распространяющихся со скоростью (2-3)км/с. Перемещение микрочас-

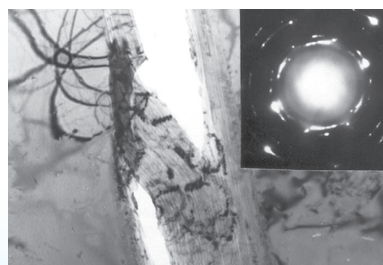


Рис. 1
Микротрещины-каналы в аустенитной стали Гадфильда 110Г13, нагруженной потоком частиц белого чугуна при -196°С (x37000)

тиц происходит по сформированным каналам и сопровождается измельчением частиц. Вторая стадия наступает после силовой разгрузки. Квазиупругое восстановление формы мишени приводит к динамическому смыканию стенок каналов, вызывающему ударное дробление частиц в каналах. Происходящий при этом разлет облом-

ков (фрагментов) микрочастиц обуславливает увеличение общей глубины проникания, а также равномерности рассеяния материала частиц в объеме мишени.

На примере образца из меди, обработанного потоком порошковых частиц (SiC+Ni), методом локального рентгеноспектрального анализа установлено, что частицы, проникшие на глубину до 18 мм, имеют высокую концентрацию Si (рис.2а). При исследовании этих частиц методом комбинационного рассеяния света установлено, что проникшие частицы SiC сохраняют 6Н структуру, которую имел исходный порошок. Были получены рамановские спектры SiC, что однозначно указывает на проникание частиц SiC в образец из меди (рис.2б), [5].

Предложена новая физическая модель эф-

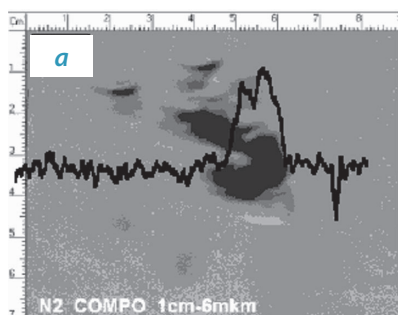
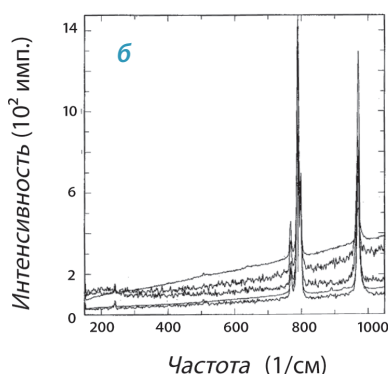


Рис. 2

Частицы SiC в меди:
а - изображение группы частиц в обратно отраженных электронах и распределение Si вдоль линии сканирования
б - спектры КРС, полученные от исходного порошка SiC и четырех частиц SiC, проникших в медный образец



фекта сверхглубокого проникания. Модель основана на том, что ударные волны создают в мишени поле неоднородных растягивающих напряжений. Релаксация напряжений в условиях задержки пластической деформации происходит за счет квазиупругого нарушения сплошности материала мишени. В результате возникают подвижные, протяженные, короткоживущие поры (транспортные капсулы), кото-

рые переносят частицы порошка внутри преград [6].

Явление сверхглубокого проникания наблюдается не только при весьма высоких скоростях (~1км/с) и давлениях (~15ГПа) потока частиц, как это предполагалось до настоящего времени, но и при относительно небольших скоростях (150м/с) и давлениях (1,3ГПа) потока в условиях охлаждения материала мишени и частиц до -196°С, которое обуславливает преимущественно упругий характер их взаимодействия (рис.3). Это указывает на существование более широких возможностей для реализации и, соответствен-

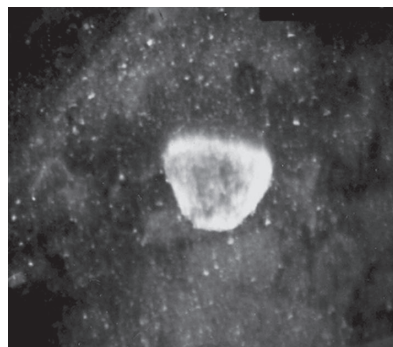


Рис. 3

Частица белого чугуна и отделившиеся от нее фрагменты в стали 110Г13 на глубине 48 мм от поверхности нагружения. Темнопольное изображение в рефлексе цементита (021) (x59000)

но, практического использования анализируемого явления [7]. Дефекты, наведенные в стальных мишенях движущимися частицами (каналы проникания, микропоры, поля частично релаксированных упругих напряжений), заметно снижают микротвердость и износостойкость сталей и, в то же время, существенно ускоряют диффузионные процессы, происходящие в сталях при последующей термической обработке. Обработка потоком порошковых частиц быстрорежущей стали Р6М5 и последующая стандартная упрочняющая термическая обработка приводит к существенному (до 2,4 раза) повышению абразивной износостойкости стали [1-4].

Использование явления как способа взрывного легирования позволяет вводить в металлические преграды на значительную глубину (десятки миллиметров и более) порошковые микрочастицы различной природы, изменять микроструктуру и, следовательно, физико-механические свойства на поверхности и в объеме металлических изделий.

¹ Коршунов Л.Г., Ушеренко С.М., Дыбов О.А., Черненко Н.Л. Физика металлов и металловедение 94 (2002) 90

² Зельдович В.И., Коршунов Л.Г., Хомская И.В., Фролова Н.Ю., Хейфец А.Э., Ушеренко С.М., Черненко Н.Л. Металлы 3 (2003) 63

³ Коршунов Л.Г., Ушеренко С.М., Дыбов О.А., Черненко Н.Л. Физика металлов и металловедение 98 (2004) 74

⁴ Коршунов Л.Г., Ушеренко С.М., Дыбов О.А., Черненко Н.Л. Физика металлов и металловедение 100 (2005) 95

⁵ Хомская И.В., Зельдович В.И., Фролова Н.Ю., Хейфец А.Э., Поносов Ю.С., Елохина Л.В. Физика металлов и металловедение 100 (2005) 85

⁶ Kheifets A.E., Zel'dovich V.I., Frolova N.Yu., Khomskaya I.V. Materials Science- Poland 22 (2004) 117

⁷ Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Физика металлов и металловедение 101 (2006) 660