

рые возбуждаются при соударении потока с преградой. Особенность возбужденных ударных волн заключается в неоднородности воздействия и большой длительности, достигающей 100-200 мкс.

При исследовании микроструктуры преград из железо-никелевых, железо-марганцевых сплавов и сталей, подвергнутых действию потока частиц SiC или Cr, были рассмотрены изменения структуры, вызванные ударными волнами, и изменения, связанные с собственно прониканием. В сплаве Fe-32%Ni наблюдали участки, в которых линзовидные кристаллы мартенсита испытали частичное превращение в аустенит, что соответствует давлению в ударной волне 8 ГПа. В сплаве Fe-6%Ni с исходной ферритной структурой наблюдали следы цикла $\alpha \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$ превращений, появляющиеся при давлении более 12 ГПа. Следовательно, «фоновое» давление в отдельных участках преград составляет ~10 ГПа. При таком давлении температурные эффекты ударных волн не существенны и не могут повлиять на структуру сплавов железа. В сплаве Fe-21%Mn с исходной ($\gamma + \epsilon$)-структурой воздействие потока частиц привело к образованию 5-6% α -фазы. Так как α -фаза имеет больший удельный объем, чем ϵ - и γ -фазы, то причина ее образования - не давление в ударной волне, а деформация.

Часть преграды от поверхности воздействия на глубину 3-5 мм испытывает пластическую деформацию осадкой (сжатие), остальная часть подвергается высокоскоростной деформации, связанной с прохождением ударных волн. Эта деформация проявляется как равномерная и локализованная. Равномерная деформация приводит к повышению плотности дислокаций и появлению двойников, локализованная - к появлению полос сдвига.

Методами металлографии, дифракционной электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального анализа в материалах преград были найдены отдельные проникшие частицы SiC и Cr. Размер проникших частиц был на два порядка меньше, чем исходных. При электронно-микроскопических исследованиях часто наблюдали специфические экстинкционные контуры в виде «пауков», связанные, вероятно, с полями упругих напряжений вокруг захлопнувшихся каналов сверхглубокого проникания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 03-03-33028.

1. Ушеренко С. М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. 1998. Минск. НИИ импульсных процессов. 210 с.

ДЕФОРМАЦИЯ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СТАЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

Зельдович В. И., Фролова Н. Ю., Хейфец А. Э., Пурыгин Н. П.

*Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
zeldovich@imp.uran.ru*

Действие ударных волн складывается из нескольких факторов. Высокое давление, которое действует в течение нескольких микросекунд, вызывает превращения с образованием фаз высокого давления. Вследствие кратковременности воздействия такие фа-

зовые превращения происходят мартенситным механизмом. В железе и его сплавах при небольшой концентрации легирующих элементов фазой высокого давления является гексагональная ϵ -фаза, в железо-никелевых сплавах с содержанием никеля около 30% - граноцентрированная γ -фаза.

Другим фактором действия ударных волн является высокоскоростная пластическая деформация. Эта деформация бывает равномерной и локализованной. Равномерная деформация распространяется на весь объем материала. Локализованная деформация происходит в отдельных местах и проявляется в виде участков локализованного течения, в том числе полос адиабатического сдвига.

При взаимодействии ударных волн и волн разрежения возникают большие растягивающие напряжения, которые приводят к явлениям откола. По-видимому, на ранних стадиях откола возникают многочисленные трещины, слияние которых приводит к разрушению.

Действие мощных ударных волн сопровождается значительным повышением температуры. По данным [1] действие ударной волны с давлением 200 ГПа приводит к плавлению железа. В наших экспериментах со стальными шаровыми образцами [2] остаточной температуре ~ 1800 К (температуре плавления среднесуглеродистой стали) соответствовало давление ударной волны 200 ГПа.

В докладе рассматриваются структурные изменения в стали с исходной феррито-перлитной структурой, связанные с деформацией и с повышением температуры, вызванные действием квазисферических сходящихся ударных волн с давлением до 300 ГПа. Пластины цементита (хрупкая составляющая перлитной структуры) «ломаются» при ударно-волновом нагружении, пластины феррита (пластичная составляющая) – деформируются, сохраняя сплошность. Электронно-микроскопические наблюдения смещения «осколков» разрушенных пластин относительно друг друга позволяют наблюдать «тонкие» особенности равномерной деформации микрообъемов материала размерами 0.1-0.3 мкм. Деформации в пластинчатой структуре перлита существенно зависят от ориентации пластин относительно фронта ударной волны.

Локализованная деформация проявляется в виде полос адиабатического сдвига, расположение полос определяется геометрией ударно-волнового нагружения. В полосах адиабатического сдвига наблюдаются участки плавления и перекристаллизации, что приводит к измельчению зерна. По мере схождения ударных волн давление и температура возрастают, и сталь испытывает полиморфное превращение и затем плавление.

Список литературы

1. Высокоскоростные ударные явления. 1973. М.: «Мир». 533 с.
2. Зельдович В.И., Литвинов Б.В., Пурыгин Н.П. и др. Доклады АН. 1995. Т.343. № 5. С.621-624.