

Материаловедение

УДК 621.762

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЧАСТИЦ С РАЗЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА МЕТАЛЛЫ

С.Е. Алексенцева, А.Л. Кривченко

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Исследовано воздействие на технически чистые металлы потока высокоскоростных дискретных порошковых частиц в режиме сверхглубокого проникания частиц. Обработка проведена частицами тугоплавких металлов, неметаллов и химических соединений. Выявлены методом дифракционной рентгенографии особенности микроискажений кристаллической решетки металлов при изменении характеристик потока частиц – средней плотности потока. Давление соударения рассчитано методом построения ударных адиабат. Описан возможный механизм низкой концентрации внедренных частиц при обработке высокоплотным потоком. Изучена связь параметров кратеров на поверхности матрицы и проникающая способность частиц. Исследованы зависимости размеров кратеров, их глубина или размытие и концентрация внедренных частиц в объеме заготовки методом зондового рентгеновского микроанализа.

Ключевые слова: *металлическая матрица, поток дискретных порошковых частиц, проникание, микроискажения кристаллической решетки.*

Направляющим вектором современных научных исследований в области получения новых композиционных металлических материалов является воздействие на субмикро- и наноструктуру, что позволяет достигать высоких прочностных характеристик и перспективных сочетаний свойств материалов. Одним из таких процессов является обработка металлов и сплавов потоком высокоскоростных дискретных частиц, обеспечивающих объемное микролегирование материалов с наноструктурированием материала в результате проникания частиц. Объемное микролегирование металлов и сплавов за счет сверхглубокого проникания частиц (СГПч) [1] на глубину от сотен до тысяч диаметров частиц реализуется при основных критических характеристиках потоков – скорости метания 1-3 км/с, плотности потока около 1 г/см³ и размерах частиц до ~100 мкм [1].

Задачи исследования

Выявить изменение микроструктуры кристаллической решетки металлической матрицы и концентрации проникающих частиц при воздействии на металлы

Светлана Евгеньевна Алексенцева (к.ф.-м.н., доц.), доцент кафедры «Технология твердых химических веществ».

Александр Львович Кривченко (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях».

высокоскоростных потоков частиц различных элементов и потоков разной плотности. Определить зависимость концентрации проникающих частиц от характера кратерообразования на поверхности металлической матрицы.

Методика исследования

В данной работе микролегирование объема металлов обеспечивается разгоном порошковых дискретных частиц W, Ni, C, TiB₂ средней дисперсностью порядка 10 мкм путем торцевого метания за счет ударной волны (УВ) при взрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ) [2]. При взаимодействии потока с металлической матрицей (рис. 1) обеспечиваются необходимые режимы СГПч. Исследовано объемное микролегирование технического титана марки ВТ1-0 и армко-железа. Метаемые частицы характеризуются разнообразным спектром по удельной плотности: от большой – вольфрам ($\rho = 19350 \text{ кг/м}^3$), средней – никель ($\rho = 8910 \text{ кг/м}^3$) до малой – углерод в форме графита ($\rho = 2200\text{-}2300 \text{ кг/м}^3$). Представлены тугоплавкие металлы и неметаллы, а также химические соединения – диборид титана.

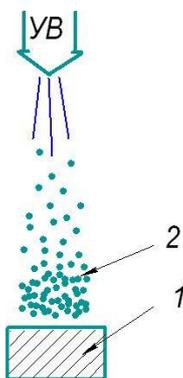


Рис. 1. Воздействие на металлическую матрицу (1) потока порошковых частиц (2)

Концентрация элементов частиц в преграде определена на рентгеновском микроанализаторе Superprobe JСХА – 733.

Микроискажения кристаллической решетки металлических матриц, обработанных потоком порошковых частиц в режиме СГПч, исследованы методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН – 3.0 Физическое уширение дифракционных линий определено по теории рентгенографии и кристаллографии поликристаллов [3].

Результаты исследования

Проведены исследования изменения концентрации проникающих частиц в зависимости от кратерообразования на поверхности армко-железа в зависимости от плотности потока порошковых частиц диборида титана и вольфрама.

Концентрация проникающих частиц зависит в целом от плотности потока и характера распределения частиц в потоке [4]. Для оценки средней плотности потока принято экспериментально зарегистрированное время взаимодействия потока с матрицей $\sim 10 \text{ мкс}$ [2]. В зависимости от внутреннего объема ориентирующего канала, по которому движется поток частиц и массы навески, рассчитана средняя плотность потока частиц TiB₂ дисперсностью 10 мкм (табл. 1). Из табли-

цы видно, что при плотности потока менее 1 г/см^3 регистрируется концентрация внедренных частиц диборида титана в матрицу армко-железа. При удвоенной плотности потока частиц значительная концентрация проникших частиц в объеме матрицы не наблюдается.

Таблица 1

Влияние плотности потока на концентрацию проникающих частиц

| Условная масса навески | Плотность потока, г/см^3 | Концентрация Ti, %, при обработке TiB_2 | Кратеры размером 1-2 мм, % по площади | Кратеры размером 0,1-0,3 мм, % по площади |
|------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| М | 0,75 | 0,05 – 0,1 | 0,04 | 1,38 |
| 2·М | 1,5 | – | 7,3 | 0,06 |

Проникающая способность частиц характеризуется также размерами кратеров на поверхности и равномерностью их распределения [4]. Максимально возможное проникание частиц вольфрама и объемное микролегирование наблюдаются, если в областях поверхности матрицы равномерно распределены небольшие микрократеры с поперечным размером около 2–300 мкм и, возможно, отношением глубины кратера к диаметру более $\sim 0,5$ (см. табл. 1, рис. 2).

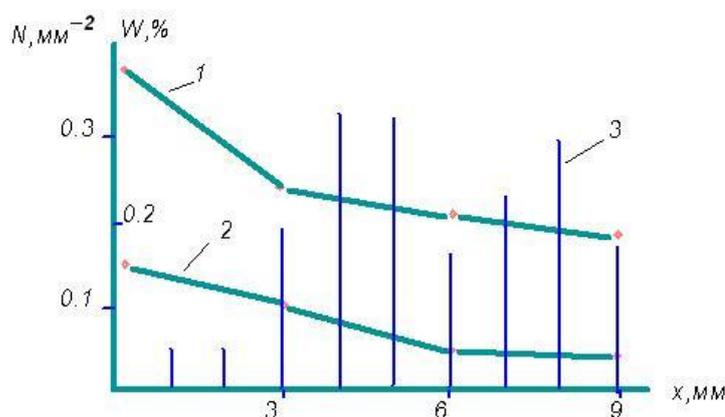


Рис. 2. Число кратеров размером ~ 1 мм в поперечнике (1), кратеров размером 2-300 мкм (2), концентрация частиц вольфрама в матрице титана в радиальном секторе (3)

Таким образом, из вышеприведенных исследований можно сделать выводы о влиянии плотности потока на проникающую способность частиц.

Метаемые частицы со скоростью около 1–3 км/с имеют необходимую энергию для проникания вглубь матрицы. Но при высокой плотности поток воздействует на поверхность матрицы подобно «пескоструйной» обработке, не позволяя частицам проникать. Если исходить из предположения о равномерности распределения частиц в потоке с указанной выше плотностью на площадке матрицы 1 см^2 при обработке частицами типа Ti, то практически одновременно в слое от 10 до 100 мкм ударяет соответственно порядка нескольких сот или тысяч частиц. Интервал воздействия между частицами составляет 100–500 мкм. Это означает, что большое число частиц одновременно ударяет вблизи друг друга, размывая

поверхность матрицы и формируя «плоские» большие кратеры с отношением глубины к диаметру значительно менее половины. При этом выносимый материал поверхности как бы срезает соседние частицы. Последующие частицы так же бомбардируют предшествующие частицы на подлете или в поверхности матрицы, изменяя их начальный градиент и энергетический потенциал и препятствуя прониканию.

Низкая концентрация проникающих частиц в области крупных кратеров согласуется с исследованиями [5], где показано, что в потоке могут следовать один ударник за другим в одну и ту же область поверхности преграды. Последующий ударник имеет более низкую пробивную способность, чем предшествующий, так как имеет пониженную скорость – взаимодействует с дном кратера в преграде, которое может включать значительную реактивную компоненту преграды.

Проведены исследования изменения концентрации проникающих частиц и микроискажения кристаллической структуры титана марки BT1-0 в результате обработки потоком порошковых частиц W, Ni, C, TiB₂ [2].

Микроискажения кристаллической решетки титана марки BT1-0, обработанного потоком порошковых частиц в режиме СГПч, исследованы методом дифракционной рентгенографии в излучении с длиной волны характеристического излучения CuK_α λ=1.54178Å. Рассчитано физическое уширение дифракционных линий титана. Наиболее выражены и хорошо регистрируются в титане BT1-0 дифракционные линии α-фазы титана (101) и (002).

Значения физического уширения дифракционных линий титана, обработанного потоком частиц W, Ni, C, TiB₂ заряда ВВ, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение физических уширений β рентгеновских дифракционных линий титана после обработки высокоскоростным потоком порошковых частиц

| Воздействие потока частиц | β, мрад | |
|---------------------------|-------------|-------------|
| | Линия (101) | Линия (002) |
| Вольфрам | 0.5 | 0.3 |
| Никель | 1.1 | 2.5 |
| Углерод | 1.8 | 0.9 |
| Диборид титана | 1.3 | 0.01 |

Из табл. 2 видно, что при воздействии потока частиц создаются небольшие микродеформации кристаллической структуры. В целом проникание частиц – в интервале концентраций от 0.16 до 0.43 % по массе в слое матрицы. Ничтожные значения концентрации имеются только при обработке диборидом титана (по бору).

Исследованы микроискажения решетки в зависимости от плотности потока (табл. 3). Значительные величины концентрации проникающих частиц (десятые доли процента) наблюдаются только в первом эксперименте, т. е. при плотности потока 0.75 г/см³.

Значения физических уширений, близких к нулю при обработке потоками частиц вольфрама большей плотности (см. табл. 3), возможно, связаны с повы-

шением тепловой компоненты давления, что практически приводит к снятию микроискажений кристаллической структуры.

На основании данных табл. 2 и 3 можно сделать вывод, что значительные микроискажения кристаллической решетки в поперечном срезе матрицы, обработанной потоком частиц, могут являться одним из признаков интенсивного проникания микрочастиц.

Давление соударения потока и матрицы определялось графоаналитическим методом построением ударных адиабат [6] по закону для волновой скорости $D = a + \lambda u$, здесь a – величина, близкая к объемной скорости звука в веществе; λ – эмпирическая константа; u – скорость встречи ударника с преградой. Получаем ударную адиабату, задавая значениями u и определяя давление соударения из зависимости $p = D\rho u$, где ρ – исходная плотность вещества. Давление соударения определялось по точке пересечения ударных адиабат ударника и мишени после зеркального отражения от интересующей линии скорости метания ударника (в среднем 1.5 км/с).

Таблица 3

Изменение физических уширений β рентгеновских дифракционных линий титана после обработки высокоскоростным потоком частиц различной плотности

| Условная масса навески | Плотность потока, г/см ³ | Давление соударения, ГПа | в, мрад | |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| | | | Линия (101) | Линия (002) |
| М | 0.75 | 12.1 | 0.5 | 0.3 |
| 1.5·М | 1.13 | 17.0 | – | – |
| 2·М | 1.5 | 21.0 | – | – |

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Имеет место корреляция концентрации проникающих частиц и размеров кратеров на поверхности матрицы. Так, при равномерном распределении небольших $\sim (2 - 300)$ мкм углубленных кратеров концентрация внедренных частиц максимальна.

2. В зонах обработки металлической матрицы потоком частиц повышенной плотности (более 1 г/см³) снижается сверхглубокая проникающая способность частиц.

3. Вероятно, одним из признаков проникания частиц в объеме матрицы являются значительные физические уширения β рентгеновских дифракционных линий кристаллической решетки после обработки матрицы титана потоком частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ушеренко С.М., Дыбов О.А., Коваль О.И. Рассмотрение результатов по сверхглубокому прониканию частиц в металлические преграды // Инж.-физ. журнал. – 2002. – Т. 75, № 2. – С. 191-195.
2. Aleksentseva S.E., Krivchenko A.L. Materials for the biomedicine, received by processing metals the high-speed stream of the discrete the particles, generated by the shock wave // Shock Waves in Condensed Matter: Proc. of Int. Conf. – Kiev, Ukraine, 16-21 September, 2012, p. 435-438.
3. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.
4. Алексенцева С.Е., Кривченко А.Л. Исследование особенностей обработки металлов и сплавов высокоскоростным потоком дискретных частиц, разогнанных энергией взрыва канальных за-

- рядов и другими динамическими методами // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2. – С. 71-78.
5. *Томашевич И.И.* Проникание в преграду высокоскоростного потока удлиненных элементов // Физика горения и взрыва. – 1987. – № 2. – С. 97-101.
 6. *Орленко Л.П.* Физика взрыва и удара. – М.: Физматлит, 2006. – 304 с.

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2014 г.

EFFECT OF THE FLOW HIGH SPEED THE DISCRETE CORPUSCLES WITH THE VARIOUS IN PERFORMANCES ON METALS

S.E. Aleksentseva, A.L. Krivchenko

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Effect on metals of a flow of high speed discrete powdered corpuscles in a regime super-deep penetration of corpuscles is studied. Processing is spent by particles of refractory metals, nonmetals and chemical compounds. With application of x-ray radiation features of microdistortions of a crystal lattice of metals at change of characteristics of a stream of particles - average density of a stream are revealed. Pressure of impact is calculated by a method of construction of shock adiabatic curves. The possible mechanism of low concentration of the introduced particles is described at processing by a high density stream. Connection of craters parametres on a surface of a matrix and penetrating power of particles are studied. Dependencies of the craters sizes, their depth or degradation and concentration of the introduced particles in volume of preparation by a method the x-ray microanalysis are investigated.

Keywords: Metal lower die, flow of the discrete powdered corpuscles, penetration, crystal lattice microdistortions.