РАЗДЕЛ VII. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Алексенцева С.Е.

О размерных характеристиках при динамической обработке материалов потоком частиц в режиме сверхглубокого проникания

Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара)

doi: 10.18411/lj-11-2020-43

idsp: ljjournal-11-2020-43

Аннотация

Исследованы возможности обоснования размерных характеристик при динамической обработке материалов потоком порошковых частиц в режиме сверхглубокого проникания и формировании микроканалов. Характерный размер проникающих частиц является размерно значимым, обеспечивая минимизацию инерционных сил в процессе деформирования среды проникания.

Ключевые слова: высокоскоростное метание частиц, размерные характеристики, микроканалы, сверхглубокое проникание, деформируемая преграда

Abstract

The possibilities of a basis of the dimensional characteristics are researched at dynamic treatment of materials by a flow of powder particles in a condition of the superdeep penetration and forming by a microcanals. The characteristic dimension of penetrating particles is dimensionally important, minimizing a inertia in the course of a deforming of medium of permeation.

Keywords: high-speed throwing of particles, dimensional characteristics, microcanals, superdeep penetration, deformable barrier

Управление процессами высокоскоростного нагружения и обработки высокоэнергетичными потоками является многофакторной технологической задачей. Требуется установить физические законы поведения вещества при импульсном воздействии и пространственной соразмерности структурных элементов; выявить иерархию и корреляцию типов и уровней микроструктур материалов в условиях внешних воздействий; получить новые уникальные свойства композиционных материалов, внедрить технологические процессы.

Инновационным процессом является взрывная обработка материалов потоком высокоскоростных порошковых частиц в режиме сверхглубокого проникания (СГП) [1-3]. Эффект СГП обеспечивает проникание порошковых частиц на глубину от ста характерных размеров частиц и более, при этом частицы размером от десятков до сотен микрометров разгоняют энергией взрыва в интервале скорости 1-3.5 км/с потоком плотностью порядка 1000 кг/м³. Воздействие потоком частиц при давлении соударения 10 – 30 ГПа приводит к высокоскоростной деформации металлов и сплавов [1-3].

Процесс структурообразования при СГП частиц протекает на разных структурных уровнях: фрагментация зёрен, накопление дефектной структуры, искажение атомарно-кристаллической структуры, а так же формирование микроканалов как объёмных элементов структуры материала преграды [1, 7].

Рис.1. Формирование микроканалов в преграде при СГП

В настоящее время не обоснованы размерные особенности СГП, т.е. критический размер d , для которого имеется максимальное проникание частиц [1]. d составляет порядка сотни мкм, что вероятно, зависит от инерционных сил, возникающих при внедрении частиц.

Сверхзвуковая область взаимодействия ударников с преградами в интервале порядка $10^3 - 10^4$ м/с сопровождается возникновением интенсивной ударной волны в материале преграды. Давление в преграде аддитивно включает инерционные силы сопротивления внедрению ударника и амплитуду давления ударной волны в преграде. Преграда в условиях нагружения частицами при сверхглубоком проникании уже ведёт себя как сжимаемая вязкая жидкость.

Скоростной диапазон нагружения высокоскоростным потоком частиц при СГП 1-3.5 км/с относится к пограничной области для сверхзвукового режима. В данной работе проведено исследование вещества преграды в рамках гидродинамического режима деформации при высокоскоростном соударении твёрдых тел с учётом вязких компонент деформируемых сред применительно к СГП.

При высокоскоростном деформировании, соударении твёрдых тел, сварке взрывом, в зоне контакта двух пластин возникает волнообразный струйный режим течения материала. Для данных процессов число $Re = \rho v^2 / H_V$ [4], где ρ – плотность материала, v – скорость соударения материалов, H_V – твёрдость по Виккерсу. Применительно к соударению потока частиц при СГП со сталью определено число Re : для стали с плотностью 7840 кг/м^3 , средней скоростью соударения частиц 2 км/с и твёрдостью 190 H_V получено значение $Re=165$. В локальных зонах внедрения частицы при СГП появляются следы турбулентного течения (в реальных условиях при $Re_{кр} > 10^3$ течение носит турбулентный характер). Вокруг трека проникающей частицы имеются экстинкционные контуры и деформация скольжением вихревого характера [1]. Влияние оказывает закрутка вокруг частицы при формировании нелинейной формы трека частицы, искривлённого в результате разворота по неоднородным структурным конфигурациям, напряжённым дефектами зонам.

Считая материал преграды, находящимся в гидродинамическом режиме деформации, модель процесса проникания частицы можно рассматривать как канал, в котором протекает тепловая струя, т.е. высокоскоростная разогретая частица, со скоростью проникания частицы в вязком веществе.

Упрощённо процесс протекания тепловой струи по длинной трубе, диаметр которой равен диаметру канала d при СГП, со средней по сечению скоростью v и кинематической вязкостью жидкости ν , подчиняется закономерности: $d = Re \nu / v$ [5]. При средней скорости проникания $v = 10^3$ м/с, вязкости $\nu_0 = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ [4-5], в интервале значений числа Рейнольдса $10 - 10^3$ предельный диаметр канала d изменяется соответственно от 1 до 100 мкм (рис.1). Зарегистрированный поперечный размер канала составляет 1 мкм [1].

Исследуем фундаментальные процессы, связанные с критическими размерными характеристиками - зависимости в свободных режимах протекания (сыпучести) в

порошке и проникания в жидкостях, где проявляется критичность размера частицы, в частности, около 100 мкм.

Так, процесс падения или осаждения частиц, капелек, шариков в вязкой жидкости с ламинарным обтеканием описывается законом Стокса, который хотя и справедлив для $Re \ll 1$, однако только размерный интервал частиц 1-100 мкм обеспечивает минимум возбуждения инерционных сил при гравитационном режиме проникания. Частицы размером больше чем 100 мкм, при осаждении в вязкой жидкости начинают проявлять значительные силы инерции. Частицы размером менее 1 мкм имеют ничтожно малую кинетическую энергию при оседании и мало отличаются от жидкости.

Следующим процессом является исследование сыпучести порошков [6], что включает определение истечения порошка в воронке с внутренними поверхностями образованными радиусом 100 мм и зазором между ними $\delta=1.7$ мм. При нормальных условиях в воздухе истечение металлических порошков Fe, Cu, Al различной дисперсии в интервале средних размеров $\sim (0.05 - 0.3)$ мм достигает максимума улучшения сыпучести при размере около 100 мкм, дальнейшее увеличение размера порошка приводит к резкому ухудшению сыпучести V_t (рис.2).

Рис.2. Изменение сыпучести порошков в зависимости от размера частиц

Необходимо определить роль удельной поверхности порошковых частиц S_u , которая в целом зависит от формы и размера частиц. Удельная поверхность S_u эквивалентна поверхности контакта S_k и силам инерции F_{in} , т.е. наблюдается эквивалентность величин $S_u \sim S_k \sim F_{in}$.

С уменьшением размера частиц и степени сложности поверхности возрастает величина удельной поверхности, что в свою очередь приводит к росту контактной поверхности. При соприкосновении частиц с другими объектами возникают силы сцепления, приводя к увеличению сил трения при относительном сдвиге, что является компонентой инерционных сил сопротивления при внедрении частиц в преграды.

Проведено исследование изменения удельной поверхности порошковой частицы S_u в зависимости от используемого при сверхглубоком проникании характерного интервала частиц 1 – 1000 мкм по формуле $S_u = S/V$ [6], где S и V соответственно площадь поверхности и объём одной частицы. Расчёты проведены для частиц сферической формы без учёта параметра реального фактора формы.

Рис.3. Изменение удельной поверхности порошковых частиц в зависимости от их размера

Из рис. 3 видно, что размерная зона ~ 100 мкм является критической, представляет собой область перегиба кривой. В интервале от 1-100 мкм имеет место резкое убывание S_u при малом возрастании величины размера частиц. В интервале размера частиц 100-1000 мкм значение удельной поверхности начинает приближаться к постоянному при значительном росте величин размеров частиц. Это указывает на максимально благоприятный диапазон размеров частиц (1-100 мкм) при их контактном относительном перемещении в процессе пересыпания-протекания порошка.

Таким образом, в размерном интервале 0 – 1000 мкм размер частицы около 100 мкм является наименьшим при минимальной удельной поверхности $S_u = 10^3 - 10^4 \text{ м}^{-1}$. Отсюда, применительно к изучению процесса сверхглубокого проникания размер частиц порядка 100 мкм является размерно значимым фактором, обеспечивающим минимизацию инерционных сил в процессе деформирования среды проникания.

1. Ушеренко, С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов [Текст] / С.М. Ушеренко. - Минск: НИИ Импульсных процессов. - 1998. – 210 с.
2. Алексенцева, С.Е. Повышение эффективности обработки материалов потоком высокоскоростных дискретных частиц [Текст] / С.Е. Алексенцева. Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки". - 2015.- N1(45). - С.142-145.
3. Алексенцева, С.Е. Взрывное микролегирование и упрочнение потоком высокоскоростных частиц сварных швов рельсовых стыков и конструкций [Текст] / С.Е. Алексенцева, И.В. Захаров. Технология металлов. - 2018. - N10. - С.18-24.
4. Дерибас, А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом [Текст] / А.А.Дерибас. - Новосибирск: Наука.- 1980. - 222 с.
5. Физический энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. А.М.Прохоров - М.: Сов.энциклопедия. - 1983. - 928 с.
6. Прокатка металлических порошков [Текст] / Г.А.Виноградов, Ю.Н.Семёнов, О.А.Катрус, В.П.Каташинский. – М.: Металлургия.-1969.-382 с.
7. Алексенцева, С.Е. Дисперсноупрочнённые материалы для биомедицины, полученные обработкой высокоскоростным потоком дискретных частиц, разогнанных энергией взрыва [Текст] / С.Е. Алексенцева. - Образование. Наука. Научные кадры. -2015.- №2.- С.250-253.

Кабалдин Ю.Г., Хлыбов А.А., Аносов М.С., Шатагин Д.А., Рябов Д.А., Головин А.А.

Исследование связи скорости ультразвука в металлах с их твердостью в условиях пониженных температур

*Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева
(Россия, Нижний Новгород)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-44

idsp: ljjournal-11-2020-44

Аннотация

В данной работе проведено исследование влияния пониженных температур на твердость сплавов Д16, 12Х18Н10Т, ВТ8. Установлена связь твердости исследуемых сплавов со скоростью упругих волн в широком диапазоне пониженных температур. Показано, что понижение температуры сопровождается увеличением твердости и скорости ультразвуковых волн для всех исследуемых сплавов.

Ключевые слова: твердость, пониженные температуры, ультразвуковой контроль

Abstract

In this work, we studied the effect of low temperatures on the hardness of alloys D16, 12Kh18N10T, VT8. The relationship between the hardness of the investigated alloys and the speed of elastic waves in a wide range of low temperatures is established. It is shown that a