

Варьируя степени обжатия, получим зависимость степени деформации к моменту разрушения от показателя напряженного состояния.

На рис. 2 представлены диаграммы пластичности, построенные растяжением гладких образцов, растяжением образцов с выточками, кручением, осадкой [3] (сплошные линии), и на эти кривые нанесены экспериментальные точки, полученные поперечной прокаткой образцов с различной степенью обжатия.

Достоинством метода является возможность определения локальной пластичности, т.е. пластических свойств в ограниченном объеме металла, расположенного в центре образца, что не обеспечивается обычными испытаниями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новый метод испытания металлов / А.С.Дубень, С.М.Красневский, Л.И.Стенько, В.Я.Щукин. — Информационный листок. Минск, 1978.
2. Сегал В.М., Макушок Е.М., Резников В.И. Исследование пластического формоизменения металлов методом муара. — М., 1974.
3. Колмогоров В.М. Напряжения. Деформации. Разрушение. — М., 1970.

УДК 621.762.4.001

Е.Б.ЛОЖЕЧНИКОВ, Г.В.ШЕДКО, А.Н.ДЕМИДОВ

#### ПРОКАТКА ПОРОШКОВ В ЭЛАСТИЧНОЙ ОБОЛОЧКЕ

Толщина и плотность прокатываемых из порошков полос, как известно, зависит от ряда геометрических и физических параметров: диаметра бочки валков, угла контакта порошка с валками, коэффициента трения порошка о валки, свойств порошка (коэффициента межчастичного трения и сцепления порошка) и др. [1,2]. При прокатке с оптимальными скоростями в вертикальном направлении обычно толщина полос составляет 0,005...0,010 диаметра бочки валков. При этом соотношение между толщиной  $h_{\text{л}}$  и плотностью  $\gamma_{\text{л}}$  порошкового проката описывается уравнением гиперболы (оси координат  $h_{\text{л}}$  и  $\gamma_{\text{л}}$  — асимптоты)

$$\gamma_{\text{л}} \cdot h_{\text{л}} = 0,5C^2, \quad (1)$$

где  $C$  — коэффициент интенсивности захвата, зависящий от свойств порошка, жесткости стана, скорости прокатки, условий подачи порошка.

Приблизительно прямая зависимость наибольшей толщины прокатываемых из порошков полос от диаметра бочки валков дает основание полагать, что интенсивность захвата и уплотнения порошка валками определяется объемом очага деформации. С его увеличением, вызванным увеличением диаметра бочки валков при постоянном угле захвата, возрастает объем

порошка, подвергаемого уплотнению. Однако, кроме геометрических условий, на величину очага деформации, как показано в [2], оказывает влияние коэффициент трения между порошком и валками. С увеличением коэффициента трения угол захвата, а следовательно, и объем очага деформации увеличивается.

Как известно [3], одним из условий предельного равновесного состояния связано-сыпучей среды вблизи границы является:

$$|\rho_{\text{к}}| \leq \rho, \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{к}}$  — угол трения между порошком и валком;  $\rho$  — угол межчастичного трения порошка.

Следовательно, возможности увеличения очага деформации за счет сил трения ограничиваются условием равенства углов в (2). На практике это достигается такой продольной шероховатостью поверхности бочки валков, при которой размер впадин обеспечивает заклинивание частиц порошка в неровностях поверхности бочки.

Однако увеличение до предельной ( $|\rho_{\text{к}}| = \rho$ ) величины коэффициента трения между порошком и валками отрицательно сказывается на качестве проката, окончательно деформируемого в зоне опережения. Совпадение одного из семейств линий скольжения с поверхностью валков (по касательной к бочке валка), происходящее при  $|\rho_{\text{к}}| = \rho$ , обуславливает значительную неравномерность напряженно-деформированного состояния материала в сечениях, перпендикулярных направлению прокатки, и, как следствие, неравномерную плотность по толщине проката, высокие остаточные напряжения и расслоения проката.

Оптимальными в связи с этим будут такие условия прокатки, при которых в начале захвата коэффициент трения порошка с валками будет близок к коэффициенту межчастичного трения, а у выхода проката из валков уменьшится до значений, обеспечивающих всестороннее сжатие материала без разрывов по линиям скольжения и огибающим их кривым.

Близкие к этим условия образуются при прокатке порошка в эластичной газопроницаемой оболочке, в качестве которой используется капроновый чулок [4]. Засыпанный в чулок порошок подается в валки, а после прокатки чулок легко отделяется от полосы.

В начале захвата сопротивление деформации нитей чулка по сравнению с напряжениями в порошке достаточно велики и нити играют роль выступов на поверхности валков, между которыми заклиниваются и перемещаются с валком и чулком частицы порошка. Таким образом создаются условия, близкие к  $|\rho_{\text{к}}| = \rho$ . У нейтрального сечения и в зоне опережения очага деформации прочность уплотненного порошка и действующие в нем напряжения достаточно велики, чтобы на них оказывала существенное влияние эластичная оболочка из тонких нитей. Происходит вытягивание капроновой оболоч-

ки со скольжением ее по поверхности валков, чем снижается коэффициент трения материала по валку.

Эффективность прокатки в эластичной сетчатой оболочке наглядно видна из следующих опытов прокатки железного порошка ПЖ4М2 (увлажнение 1,5%).

Прокаткой в валках диаметром 150 мм с подачей порошка из установленного на валки бункера (скорость вращения валков 1 об/мин) получены полосы  $\gamma_{\text{л}} = 5,1 \text{ г/см}$  и  $h_{\text{л}} = 0,93 \text{ мм}$ ,  $\gamma_{\text{л}} = 5,7 \text{ г/см}^3$  и  $h_{\text{л}} = 0,76 \text{ мм}$ . При прокатке порошка в капроновом чулке прокатаны полосы  $\gamma_{\text{л}} = 4,6 \text{ г/см}^3$  и  $h_{\text{л}} = 2,2 \text{ мм}$ ,  $\gamma_{\text{л}} = 4,9 \text{ г/см}^3$  и  $h_{\text{л}} = 2,0 \text{ мм}$ . Использование оболочки позволило увеличить толщину полос и коэффициент "С" более чем в 2 раза.

При прокатке этих же порошков в валках диаметром 600 мм в случае подачи порошка из бункера получены полосы  $\gamma_{\text{л}} = 3,7 \text{ г/см}^3$  и  $h_{\text{л}} = 4,9 \text{ мм}$ , а при подаче в оболочке —  $\gamma_{\text{л}} = 4,6 \text{ г/см}^3$  и  $h_{\text{л}} = 5,1 \text{ мм}$ .

Использование эластичной оболочки позволило избежать образования расслоев и поперечных трещин в толстых полосах, прокатываемых из порошков железа, твердых сплавов, никеля и композиций на его основе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прокатка металлических порошков /Г.А.Виноградов, Ю.Н.Семенов, О.А.Катрус, В.П.Каташинский. — М., 1969.
2. Северденко В.П., Ложечников Е.Б. Анализ процесса формирования ленты при прокатке порошков. — Сб. статей, посвященный 50-летию Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института. Минск, 1975.
3. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. — М., 1954.
4. А.с. 632487 (СССР) - Способ прокатки порошков /Е.Б.Ложечников, Ю.А.Ковалевич, Г.В.Шедко, А.Н.Демидов. — Опубл. в Б.И., 1978, № 42.

УДК 621.762

Е.Б.ЛОЖЕЧНИКОВ, Г.В.ШЕДКО, С.А.ПЛАЩИНСКИЙ,  
А.Н.ДЕМИДОВ, Н.И.ЗАРИПОВ, Н.Н.МАКСИМОВ,  
В.Б.ГРОМОВ, В.В.ПРОСЯНЮК, Ю.Н.ЮРЧЕНКО

#### МАЛОГАБАРИТНЫЙ СТАН ДЛЯ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отличительными особенностями прокатки порошков являются сравнительная низкая скорость прокатки, зависящая от свойств порошка, необходимость в дозировании порошка и приемном устройстве, обеспечивающем транспортирование малопластичной и малопрочной ленты. Эти особенности определяют конструктивные отличия станом для прокатки порошков от станом, используемых для обработки литых заготовок.