

$$\frac{\partial S}{\partial S_i} = 1 / \prod_{i=1}^N S_i \quad (30)$$

При параллельном соединении узлов чувствительность цепи имеет вид

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_N = \sum_{i=1}^N S_i, \quad (31)$$

Т.о. предлагаемая методика позволяет производить анализ точности любого сборного инструмента.

## О ВЫБОРЕ ЗАКОНОВ ТРЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ

*Бельский А. Т.*

*Гомельский политехнический институт им. П. О. Сухого*

Разрабатывая технологический процесс нанесения на длинномерные изделия покрытий из металлических порошков и их сплавов, возникает необходимость в определении действующих напряжений как в сердечнике, так и в формируемом покрытии. При выводе аналитических зависимостей для определения действующих напряжений приходится задаваться законами трения между покрытием и волочильным инструментом, а также между покрытием и сердечником.

При обработке металлов давлением силы трения зависят не только от физико-химического состояния контактных поверхностей, но и от факторов, определяющих механику деформации, а именно: формы очага деформации, упрочнения материала, наличия натяжения и так далее. Формулы, встречающиеся в литературе для определения сил трения в очаге деформации, можно разделить на три группы:

а) формулы, содержащие в качестве независимой переменной какой-либо физический фактор, например: нормальное давление, предел текучести деформируемого материала и так далее;

б) формулы, описывающие распределения сил трения по длине контакта. Одним из аргументов в этих формулах является чисто геометрический параметр, например: координата точки контактной поверхности;

в) формулы, по которым определяют среднюю удельную силу трения

в очаге деформации.

К законам трения в строгом физическом смысле могут относиться только формулы, относящиеся к первой группе. Наиболее широко применяемой формулой для определения сил трения является закон Амонтона.

Поскольку предполагается, что удельная сила трения является касательным напряжением на контактной поверхности, то можно записать

$$\tau = f p,$$

где  $f$  - коэффициент внешнего трения;

$p$  - нормальное удельное давление.

В настоящее время в литературе отсутствуют сведения об изменении коэффициента внешнего трения пористого материала в процессе волочения, но имеются экспериментальные данные об его изменении при прокатке и прессовании металлических порошков.

Учитывая, что коэффициент внешнего трения при обработке металлов давлением является величиной переменной и зависит от многих факторов, авторы большинства работ, применяя закон Амонтона, считают его величиной постоянной.

В некоторых случаях при пластической деформации значение удельной силы трения наиболее точно может быть определено двухчленным законом трения типа формулы Кулона

$$\tau = f' p + a,$$

где  $f'$  - коэффициент, отличающийся по величине от коэффициента трения;

$a$  - удельное сопротивление сдвигу, обусловленное молекулярным сцеплением поверхностей.

Однако этот закон не нашел пока распространения в обработке металлов давлением из-за отсутствия значения величин  $f'$  и  $a$ .

В последнее время в теории обработки металлов давлением все более часто используется закон Зибеля для определения удельной силы трения

$$\tau = f_{\sigma} \sigma_{\tau},$$

где  $f_{\sigma}$  - коэффициент трения по пределу текучести,

$\sigma_{\tau}$  - предел текучести материала.

Уравнение Сен-Венана - Треска в упрощенной форме имеет вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_{\tau},$$

а максимальное касательное напряжение определяется по зависимос-

ти:

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2,$$

где  $\sigma_1, \sigma_3$  - главные нормальные напряжения;

$\beta$  - коэффициент Лоде, изменяющийся в пределах от 1 ... 1,5.

Сравнивая эти выражения, получаем зависимость для определения удельной силы трения в следующем виде:

$$\tau = \beta \sigma_T / 2.$$

При формировании покрытия в процессе волочения у входа в рабочую зону порошок металла находится в состоянии утряски и дальнейшего его перемещение происходит слоями. Это возможно в том случае, если он будет скользить по поверхности волочильного инструмента и не иметь перемещения относительно сердечника. Другими словами как бы произошло схватывание порошкового материала с сердечником. На основании вышесказанного было принято, что при формировании порошкового покрытия в процессе волочения удельная сила трения между покрытием и волочильным инструментом определяется по закону Амонтона, при этом значение внешнего коэффициента трения принималось постоянным вдоль всей зоны уплотнения и деформации. Удельная сила трения между сердечником и покрытием определяется по закону Зибеля, а коэффициент трения по пределу текучести принимается равным максимальной величине, что соответствует условию схватывания.

В результате принятия таких законов трения была получена зависимость для определения усилия волочения при формировании порошкового покрытия в процессе волочения. Усилия волочения, рассчитанные по полученной зависимости, хорошо согласуются с экспериментальными данными, что говорит о правильности выбора законов трения.

## **СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ РАСПЛАВА**

*Верещагин М.Н., Целуев М.Ю., Стасенко Д.Л., Кирилюк С.И.  
Гомельский политехнический институт им. П.О. Сухого*

Аморфные сплавы кристаллизуются с помощью процесса зарождения и роста зародышей, а движущей силой является различие свободных энергий между аморфной и кристаллической фазами.