

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ совместной пластической деформации разнородных металлов / М.И. Бояршинов, Г.Э. Аркулис // Инженер. методы расчета технолог. процессов обработки металлов давлением. — М., 1963.

УДК 621.778.1

А.В. СТЕПАНЕНКО, акад. АН БССР, В.Г. ВОЙТОВ,  
Л.М. ДАВИДОВИЧ, кандидаты техн. наук (БПИ)

### АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ВОЛОЧЕНИЯ

В существующих технологиях волочения проволоки предусматриваются режимы деформирования, обеспечивающие высокую производительность труда и создающие усилия, близкие к предельным. Поэтому поиски путей снижения этих усилий, а также их оценки становятся важными не только для определения потребных энергетических затрат, но и с точки зрения повышения устойчивости процесса. Это справедливо и для технологии получения микропроволоки диаметром 50 мкм и менее вследствие существенного возрастания обрывности по сравнению с волочением проволоки больших поперечных сечений.

Для осуществления процесса волочения имеются три принципиальных возможности, связанные с эффектом деформационного упрочнения металла, изменением осевого усилия и локализацией очага деформации. В последних двух случаях возможно волочение разупрочняющихся материалов.

В традиционном способе волочения (рис. 1, а) через алмазные волокна обязательным является выполнение следующего условия:

$$\sigma_{m'} = n \sigma_{m_0} \geq \sigma_m \xi,$$

где  $\sigma_m$  — среднее значение напряжения течения материала, поскольку у входа в волоку его деформированное состояние соответствует  $\sigma_{m_0}$ , а на выходе из нее —  $\sigma_{m'}$ , т. е.

$$\sigma_m = \frac{n \sigma_{m_0} + \sigma_{m_0}}{2} = \frac{\sigma_{m_0} (n+1)}{2};$$

$n$  — характеристика деформационного упрочнения;  $\xi$  — переменная величина, учитывающая влияние механической схемы деформирования и зависящая от степени деформации  $\epsilon_i$  и контактных условий или коэффициента трения  $\mu$ .

При волочении микропроволоки через алмазные волокна возможности эффекта деформационного упрочнения металла весьма ограничены, что вынуждает применять промежуточные отжиги, характеризующиеся большой длительностью и энергоемкостью.

Расширение возможностей процесса волочения через алмазные волокна можно достичь созданием дополнительного усилия сжатия на входе в волоку

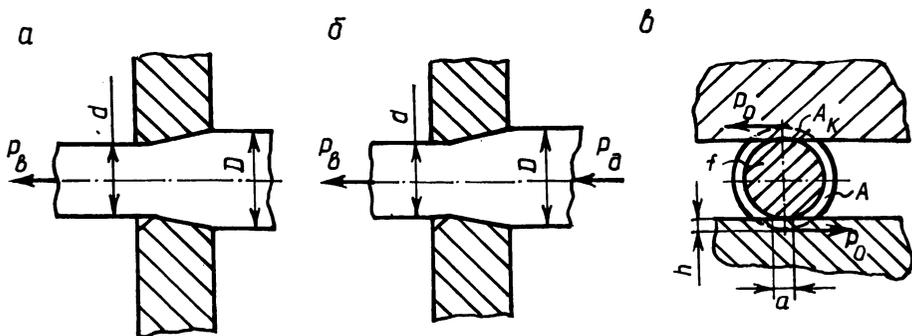


Рис. 1. Возможные схемы реализации процесса волочения:

*a* – традиционный способ; *б* – способ волочения под гидростатическим давлением; *в* – способ волочения, основанный на локализации очага деформации

(рис. 1, *б*). Обычно в таком случае заготовка помещается в закрытую полость, в которой с помощью жидкости создается гидростатическое давление. Можно осуществлять волочение как неупрочняющегося, так и упрочняющегося материала.

Волочение неупрочняющегося материала протекает при следующем условии:

$$\sigma_{m_0} + \sigma_d \geq \sigma_{m_0} \xi.$$

Дополнительное напряжение сжатия при заданной степени обжатия заготовки

$$\sigma_d = \sigma_{m_0} \xi - \sigma_{m_0} (\xi - 1).$$

Волочение упрочняющегося материала будет протекать при условии

$$\sigma_{m'} + \sigma_d \geq \sigma_{m_0} \xi,$$

где

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{m_0} (n + 1)}{2} \xi - n \sigma_{m_0} = \sigma_{m_0} \left( \frac{n + 1}{2} \xi - n \right).$$

Использование гидростатического давления при волочении через алмазные волокна позволяет уменьшить тянущее усилие и снизить обрывность проволоки. Кроме того, такой способ деформирования позволяет протягивать проволоку с большими обжатиями в связи с повышением пластичности металла в условиях всестороннего сжатия.

Третий путь реализации процесса волочения основан на принципе локализации очага деформации, т. е. уменьшении площади контактной поверхности между заготовкой и деформирующим инструментом. Этот путь предусматривает последовательное перемещение очага деформации по образующей заготовке при одновременном протягивании ее через плоский деформирующий инструмент (рис. 1, *в*).

В данном случае, как и в предыдущем, возможно волочение проволоки из неупрочняющегося материала, причем процесс будет протекать, если предель-

ное усилие волочения  $P_B$  на выходе из волоки, определяемое прочностью материала и поперечным сечением заготовки, будет не менее усилия, необходимого для преодоления сопротивления течению металла в локализованном очаге деформации, т. е.

$$\sigma_m f \geq \xi \sigma_{m_0} F_{\text{л}},$$

где  $f$  — площадь поперечного сечения проволоки на выходе из волоки;  $F_{\text{л}}$  — площадь сосредоточенной пластической деформации.

Очевидно,  $F_{\text{л}}$  зависит от площади контакта  $F_{\text{к}}$ , которая в свою очередь определяется степенью деформации и формой сечения заготовки:

$$F_{\text{л}} = f(F_{\text{к}}) = f(e_i).$$

Если волочению подвергается упрочняющийся материал, неравенство имеет вид

$$f \sigma_m \geq \xi \sigma_m F_{\text{л}}.$$

Способ локализации очага деформации позволяет варьировать усилие волочения и тем самым уменьшать вероятность обрывов при волочении микропроволоки. Однако это преимущество, а также выигрыш в усилиях должны замениться работой пластической деформации, которую необходимо совершить для полного формообразования сечения заготовки путем дополнительного движения инструмента.

По кинематике возможно различное движение деформирующего инструмента, однако применительно к волочению проволоки оно должно обеспечивать перемещение зоны деформации по круговому контуру и осуществлять в конечном итоге пластическую обкатку заготовки. По такому принципу можно осуществлять процесс волочения с вращательным движением деформирующего инструмента относительно продольной оси заготовки или так называемое ротационное волочение. Другой способ основан на применении возвратно-поступательного перемещения в поперечном к оси протягивания заготовки направлении плоского или цилиндрического инструмента. Основанный на пластическом перекачивании цилиндрической заготовки способ наиболее эффективен при волочении проволоки малых диаметров.

УДК 621.78–536.212

В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, Э.А. ГУРВИЧ, Н.Л. МАНДЕЛЬ,  
П.В. СЕВАСТЬЯНОВ, Л.Г. ДЫМОВА, кандидаты техн. наук,  
С.Н. НЕСЕНЧУК (БПИ)

### АНАЛИЗ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВА ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ

Рассмотрим квазистатическую несвязанную задачу термоупругопластичности для реальных условий нагрева металла в кольцевой печи осепрокатного производства. Математическая модель нагрева в этом случае может быть