

УДК 621.774

Г.Л. КОЛМОГОРОВ, Т.В. ЧЕРНОВА, В.Г. САВЧЕНКО  
Пермский государственный технический университет

### ОПТИМАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИЗНОС ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

В статье предложена методика определения оптимальной геометрии волочильного инструмента. Из условия минимума напряжения волочения получены зависимости для определения углов конусности волочильного инструмента. В условиях ОАО «Камкабель» (г. Пермь, Россия) в соответствии с выполненными расчетами изготовлены и испытаны твердосплавные волокна. Предложены зависимости для определения оптимальной вытяжки, обеспечивающей минимальные значения напряжения волочения.

При обработке металлов давлением широкое применение находит процесс волочения, заключающийся в протягивании заготовки через конический инструмент (рис.1).

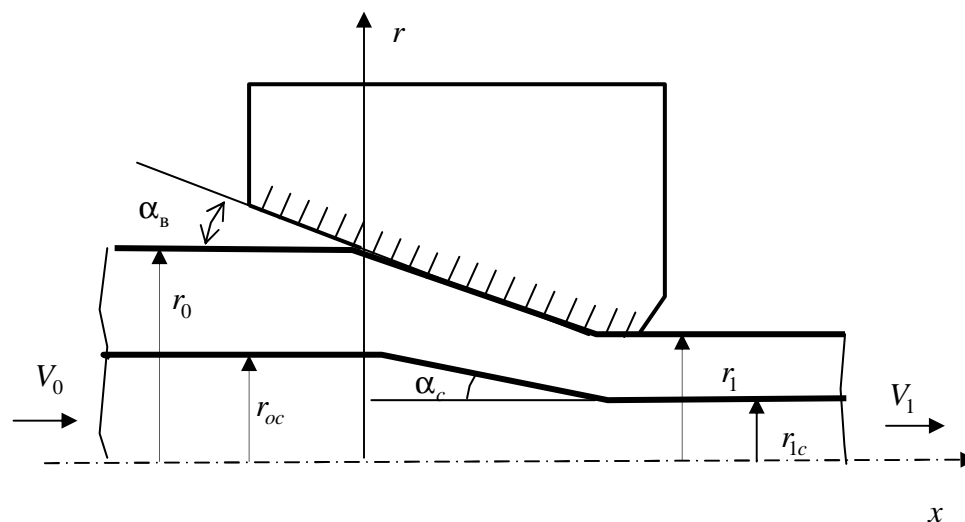


Рис.1. Схема деформирования двухкомпонентной композитной заготовки в конической матрице

При этом сечение заготовки принимает геометрию и размеры минимального сечения конического инструмента. Наиболее широко данный процесс применяется при производстве проволоки и прутков, имеющих поперечное сечение в форме круга [1].

Как и любой другой процесс обработки металлов давлением, процесс волочения характеризуется определенной энергоемкостью, снижение которой является актуальной проблемой. Энергосиловые параметры при волочении определяются условиями трения на контакте между поверхностью протягиваемой заготовки и технологического инструмента, а также геометрией волочильного инструмента.

Одной из основных характеристик при этом является угол наклона образующей волочильного инструмента к оси волочения [2]. Оптимизация угла  $\alpha_b$  обеспечивает минимальные значения напряжения волочения, что позволяет снизить

энергопотребление, уменьшить вероятность обрыва переднего конца заготовки, повысить единичные обжаты.

Как показали последующие производственные испытания, применение инструмента оптимальной геометрии в значительной степени влияет на износ и стойкость технологического инструмента.

При выполнении технологических расчетов для определения напряжения волочения наибольшей известностью пользуется упрощенная формула И.Л. Перлина [1]

$$\sigma_{\text{вол}} = \ln \frac{F_0}{F_1} [\sigma_{\text{тс}} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{\text{тс}} - \sigma_0)] + \sigma_0, \quad (1)$$

где  $F_0$  и  $F_1$  – площади сечения до и после прохода соответственно;  $\sigma_{\text{тс}}$  – усредненное по зоне деформации сопротивление деформации протягиваемого материала;  $f$  – коэффициент внешнего трения между обрабатываемым металлом и волочильным инструментом;  $\sigma_0$  – противонапряжение при волочении;  $\alpha_{\text{п}}$  – приведенный угол волоки, учитывающий наличие калибрующего пояска ( $\operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} = 0,65 \operatorname{tg}(\alpha_{\text{в}})$ ).

Определенным недостатком формулы (1) является то, что она не позволяет определять оптимальный угол волоки, хотя известно, что при деформации в конических инструментах такой угол существует. В формуле (1) множитель  $\ln(F_0/F_1) = \ln \lambda$  ( $\lambda$  – вытяжка при волочении) трактуется в работе [1] как степень деформации при волочении. В работе [3] предложена уточненная методика определения средней степени деформации при волочении, учитывающая деформации сдвига на входе в волоку и выходе из нее:

$$\epsilon_{\text{ср}} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}. \quad (2)$$

С учетом формулы (2) предлагается усовершенствовать формулу (1) и определять напряжение волочения в следующем виде:

$$\sigma_{\text{вол}} = \left( \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) [\sigma_{\text{тс}} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{\text{тс}} - \sigma_0)] + \sigma_0. \quad (3)$$

В отличие от формулы (1) формула (3) позволяет определить оптимальные углы конусности волочильного инструмента  $\alpha_{\text{в}}$  из условия минимума напряжения волочения. Условие минимума напряжения волочения записывается в виде

$$\frac{\partial \sigma_{\text{вол}}}{\partial \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}} = 0. \quad (4)$$

Продифференцировав выражение (3) согласно (4), после преобразований и упрощений получим уравнение для определения оптимального значения  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{вол}}$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = 1,414 \sqrt{\ln \lambda \cdot f \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{\text{тс}}} \right)} \quad (5)$$

и соответственно

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[ 1,414 \sqrt{\ln \lambda \cdot f \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{\text{тс}}} \right)} \right]. \quad (6)$$

Следует отметить, что при отсутствии противонапряжения ( $\sigma_0 = 0$ ), что характерно для большинства случаев, оптимальный угол не зависит от величины сопротивления деформации, определяется лишь коэффициентами вытяжки и трения:

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left( 1,414 \sqrt{\ln \lambda \cdot f} \right). \quad (7)$$

Из формулы (7) следует, что увеличение вытяжки и коэффициента трения приводит к увеличению оптимальных углов конусности технологического инструмента. Противонапряжение снижает значение оптимальных углов.

Соотношение (7) позволяет для заданных значений коэффициента вытяжки  $\lambda$  и коэффициента трения  $f$  рассчитать значения оптимальных углов конусности и проектировать геометрию волоочильного инструмента из условия обеспечения минимального значения напряжения волочения.

Полученная зависимость (7) была использована для опробования в условиях ОАО «Камкабель» (г. Пермь, Россия) при производстве алюминиевой кабельной проволоки. При производстве алюминиевой проволоки в ОАО «Камкабель» используется вытяжка  $\lambda = 1,43$ . Для упрочненного алюминия (коэффициент трения  $f = 0,09$  [1]) по формуле (7) оптимальный угол составил  $\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = 14,05^\circ$ , при этом угол волоки составляет  $2\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = 28,1^\circ$ . Следует отметить, что в условиях ОАО «Камкабель» применяют при волочении алюминия волоки с углами  $18 \div 22^\circ$ .

В соответствии с выполненными расчетами были изготовлены и испытаны твердосплавные волоки диаметрами 12,70; 10,70; 9,0; 7,60; 6,65 мм с углом рабочей зоны  $28^\circ$  с целью снижения энергопотребления, улучшения качества поверхности алюминиевой проволоки, снижения рисков на поверхности проволоки.

Волочение проволоки проводили с использованием смазки KUBITRAC AE20 (КУБИТРАК AE20) по маршруту 14,0-12,70-10,70-9,00-7,60-6,56 мм со скоростью волочения 3,57 м/с. После выполнения каждого заказа производили чистку, осмотр и оценку состояния поверхности канала волок, измерение диаметра выходной волоки. На опытном маршруте было изготовлено 475,7 км алюминиевой проволоки, после чего на поверхности канала волок образовались кольца выработки, маршрут стал не пригоден для дальнейшего использования.

Для сравнения был испытан маршрут волочения с углом рабочей зоны  $18^\circ$ , применяемым ранее в ОАО «Камкабель». Также прослеживали маршрут волок по существующей технологии. На существующем маршруте было изготовлено 166,6 км алюминиевой проволоки диаметром 6,56 мм.

Таким образом, при использовании волок оптимальной геометрии с углом рабочей зоны  $28^\circ$  зафиксировано увеличение выпуска алюминиевой проволоки на

одном маршруте в 2,9 раза по сравнению с существующим маршрутом. При этом качество поверхности улучшилось.

Другим видом технологических расчетов может быть определение оптимальной вытяжки для заданной (стандартной) геометрии волочильного инструмента. Из соотношения (6) следует

$$\lambda^{\text{опт}} = \exp \left( \frac{\text{tg}^2 \alpha_{\text{в}}}{2f \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{\text{тс}}} \right)} \right). \quad (8)$$

В отсутствие противонапряжения ( $\sigma_0 = 0$ ) формула (8) принимает следующий вид:

$$\lambda^{\text{опт}} = \exp \left( \frac{\text{tg}^2 \alpha_{\text{в}}}{2f} \right). \quad (9)$$

На рис. 2 приведены расчетные значения оптимальных коэффициентов вытяжки, полученные по формуле (9), в зависимости от коэффициента трения для различных углов наклона образующей рабочего конуса волокна к оси волочения. Видно, что с увеличением  $\alpha_{\text{в}}$  оптимальные значения коэффициента вытяжки возрастают, увеличение коэффициента внешнего трения приводит к снижению оптимальных коэффициентов вытяжки.

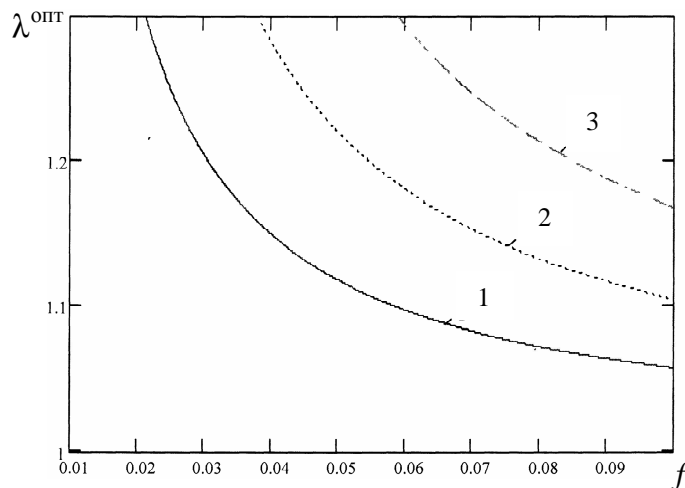


Рис.2. Зависимость вытяжки от коэффициента трения для различных углов наклона образующей конуса волокна  
 $1 - \alpha_{\text{в}} = 6^\circ$ ;  $2 - 8^\circ$ ;  $3 - 10^\circ$

### Выводы

1. Предложена методика определения оптимальных углов конусности волочильного инструмента.

2. Опытное волочение алюминиевой проволоки в условиях ОАО «Камкабель» (г. Пермь, Россия) показало значительное повышение износостойкости твердосплавных волок оптимальной геометрии.

3. Для волочильного инструмента с фиксированными углами конусности предложены зависимости для определения оптимальной вытяжки, обеспечивающей минимальные значения напряжения волочения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1972. – 448 с.
2. Колмогоров Г.Л., Ковалев А.Е., Бажин А.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 9. – С. 64–65.
3. Колмогоров Г.Л., Кузнецова Е.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2000. – №11. – С. 31–33.
4. Колмогоров Г.Л., Орлов С.И., Шевляков В.Ю. Инструмент для волочения. – М.: Металлургия, 1992. – 144 с.

Получено 01.05.2009.