

повышения эффективности использования технологических машин;

— напряженно-деформированное состояние в очаге деформации;

— оценку поврежденности металла;

— неустойчивые режимы формоизменения, приводящие к браку (незатекание металла в вершины ребер, возникновение бочкообразности и выпуклости граней профиля, в некоторых случаях появление вогнутости или даже потери устойчивости граней).

Таким образом, моделирование трубоволоочильного инструмента на основе векторно-матричного аппарата может быть применено для совершенствования существующих и разработки новых процессов профилирования труб, повышения точности готовой продукции для процесса волочения с заданными типоразмерами инструмента, а также достижения более высокой эффективности процесса с точки зрения его энергосиловых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. М.: Интермет Инжиниринг, 2003.
2. Шурупов А.К., Фрейберг М.А. Производство труб экономичных профилей. Свердловск: Metallurgizdat. Свердл. отд-ние, 1963.
3. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Metallurgiya, 1983.
4. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
5. Митюшов Е.А., Митюшова Л.Л. Математические основы компьютерной геометрии: Уч. пос. Екатеринбург: УГТУ—УПИ, 2007.
6. Паршин В.С., Карамышев А.П., Некрасов И.И. и др. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D: Уч. пос. Екатеринбург: УрФУ, 2010.
7. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. М.: Машгиз, 1962.

УДК 621.774.37 : 539.319

ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ

© 2013 г. Г.Л. Колмогоров, Е.К. Кобелева, М.В. Снигирева, Т.В. Чернова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Предлагается методика расчета энергосиловых характеристик при волочении триметаллической заготовки. Определяются напряжения в ее отдельных слоях и суммарные напряжения волочения. Выявляется оптимальная геометрия волоочильного инструмента, включающая основные параметры технологического процесса.

Ключевые слова: волочение, триметаллическая заготовка, сверхпроводник, оптимизация.

A design procedure of energy-power characteristics is proposed for the trimetallic raw part drawing process. Stresses in separate layers of trimetallic raw parts and total stresses of drawing are determined. The optimum geometry of drawing tool including key parameters of the process is found.

Key words: drawing, trimetallic raw part, superconductor, optimization.

Колмогоров Г.Л. – докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Динамика и прочность машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29). Тел.: (342) 239-13-40. Email: dpm@pstu.ru.

Кобелева Е.К. – студентка этой кафедры.

Снигирева М.В. – ст. препод. этой кафедры.

Чернова Т.В. – канд. техн. наук, доцент этой кафедры.

В технологиях обработки металлов давлением широко применяется процесс волочения, заключающийся в протягивании заготовки через конический канал технологического инструмента (рис. 1). При этом большую роль играет угол наклона образующей инструмента к оси волочения (α_B), определяющий энергосиловые параметры процесса волочения. Актуальным является выявление оптимальных значений угла α_B , обеспечивающих минимальные значения напряжения волочения.

В работе [1] предложена формула для определения напряжения волочения прутковых изделий:

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [\sigma_s + f \operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s - \sigma_q)] + \sigma_q, \quad (1)$$

где $\lambda = F_0/F_1$ — вытяжка при волочении; F_0 и F_1 — площади сечения заготовки до и после прохода соответственно; α_B — угол наклона образующей инструмента к оси волочения; $\alpha_{\text{п}}$ — приведенный угол волоки: $\operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} = 0,65 \operatorname{tg} \alpha_B$ [2]; σ_s — среднее по зоне деформации сопротивление деформации протягиваемого материала; f — коэффициент трения в зоне деформации; σ_q — напряжение противонапряжения. В отличие от известной формулы И.Л. Перлина [2] выражение (1) учитывает деформацию сдвига на входе в волочильный инструмент и на выходе из него.

Уравнение (1) использовано при изучении процесса волочения триметаллической сверхпроводящей композиционной заготовки (рис. 2) — отдельно для центральной части, промежуточного слоя и внешней оболочки.

Рассмотрим деформацию сверхпроводниковой заготовки, состоящей из трех слоев: центрального токостабилизирующего сердечника, сверхпроводящего промежуточного слоя и токостабилизирующей наружной оболочки (см. рис. 2). Напряжение волочения при деформации центрального сердечника имеет вид

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_{s1} + \sigma_q. \quad (2)$$

Соответственно усилие, обеспечивающее пластическую деформацию центральной части, равно

$$P_1 = F_1 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_{s1} + \sigma_q \right], \quad (3)$$

где σ_{s1} — сопротивление деформации центральной части сверхпроводника; F_1 — площадь сердечника на выходе.

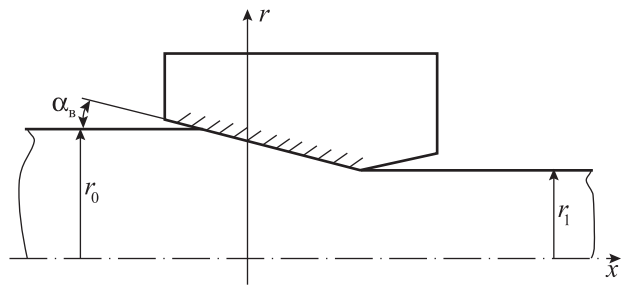


Рис. 1. Схема деформирования композитной заготовки в конической матрице

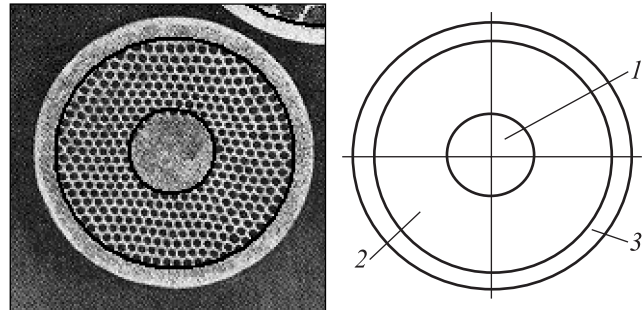


Рис. 2. Схематизация конструкции сверхпроводника в виде триметалла

1 — сердечник, 2 — промежуточный слой, 3 — оболочка

Аналогично при деформации промежуточного слоя, обеспечивающего сверхпроводящие свойства, имеем

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_{s2} + \sigma_q, \quad (4)$$

$$P_2 = F_2 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_{s2} + \sigma_q \right], \quad (5)$$

где σ_{s2} — сопротивление пластической деформации трансверсально-изотропной сверхпроводящей части, определяемой по правилу смеси для волокон Nb—Ti в медной матрице и волокон Nb в бронзовой матрице; F_2 — площадь промежуточного слоя на выходе.

Для внешней оболочки, находящейся в контакте с волочильным инструментом, можно записать:

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [\sigma_{s3} + f \operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q)] + \sigma_q, \quad (6)$$

$$P_3 = F_3 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [\sigma_{s3} + f \operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q)] + \sigma_q \right], \quad (7)$$

где σ_{s3} — сопротивление деформации материала оболочки сверхпроводника; F_3 — площадь оболочки на выходе.

Окончательное полное усилие пластической деформации при волочении триметаллической сверхпроводящей композиционной заготовки равно сумме соотношений (5)–(7):

$$P = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [F_1 \sigma_{s1} + F_2 \sigma_{s2} + F_3 \sigma_{s3} + f \operatorname{ctg} \alpha_n (\sigma_{s3} - \sigma_q) F_3] + \sigma_q (F_1 + F_2 + F_3). \quad (8)$$

Данному усилию соответствует усредненное по сечению этой заготовки значение напряжения волочения:

$$\sigma_B = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [\bar{F}_1 \sigma_{s1} + \bar{F}_2 \sigma_{s2} + \bar{F}_3 \sigma_{s3} + f \operatorname{ctg} \alpha_n (\sigma_{s3} - \sigma_q) \bar{F}_3] + \sigma_q, \quad (9)$$

где $\bar{F}_1 = F_1/F$, $\bar{F}_2 = F_2/F$, $\bar{F}_3 = F_3/F$ — относительные площади сечения каждого из слоев заготовки.

Формула (9) позволяет определить оптимальные углы конусности волочильного инструмента из условия минимума напряжения волочения, которое записывается в виде

$$\partial \sigma_B / \partial \operatorname{tg} \alpha_B = 0. \quad (10)$$

Продифференцировав выражение (9) согласно условию (10), после преобразований получим уравнение для нахождения оптимального значения $\operatorname{tg} \alpha_B$:

$$\operatorname{tg} \alpha_B^{\text{опт}} = 1,41 \sqrt{\frac{\ln \lambda f (\sigma_{s3} - \sigma_q) \bar{F}_3}{\sigma_{s1} \bar{F}_1 + \sigma_{s2} \bar{F}_2 + \sigma_{s3} \bar{F}_3}}, \quad (11)$$

и, соответственно,

$$\alpha_B^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,41 \sqrt{\frac{\ln \lambda f (\sigma_{s3} - \sigma_q) \bar{F}_3}{\sigma_{s1} \bar{F}_1 + \sigma_{s2} \bar{F}_2 + \sigma_{s3} \bar{F}_3}} \right]. \quad (12)$$

Учитывая, что для большинства случаев характерно отсутствие противонапряжения ($\sigma_q = 0$), оптимальный угол будет определяться следующим образом:

$$\alpha_B^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,41 \sqrt{\frac{f \sigma_{s3} \bar{F}_3 \ln \lambda}{\sigma_{s1} \bar{F}_1 + \sigma_{s2} \bar{F}_2 + \sigma_{s3} \bar{F}_3}} \right]. \quad (13)$$

При изготовлении триметаллических сверхпроводников внешнюю оболочку и сердечник обычно выполняют из одного материала (Cu), а промежуточный слой — из NbTi либо из Nb, поэтому можно ввести ряд упрощений в выражение (13).

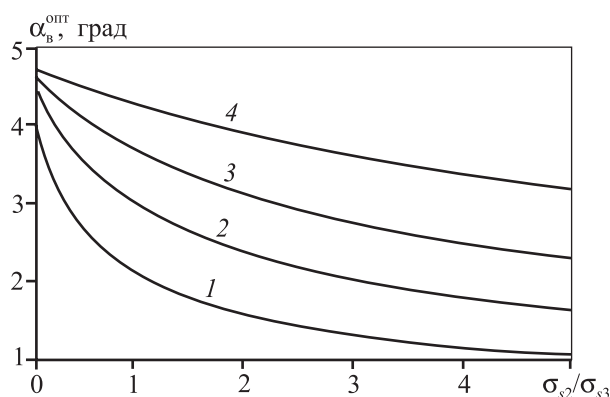


Рис. 3. Оптимальные углы конусности волочильного инструмента для коэффициента трения $f = 0,05$
 1 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0,1$, $\bar{F}_2 = 0,8$; 2 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0,2$, $\bar{F}_2 = 0,6$;
 3 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0,3$, $\bar{F}_2 = 0,4$; 4 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0,4$, $\bar{F}_2 = 0,2$

При $\sigma_{s3} \cong \sigma_{s1}$ имеем

$$\alpha_B^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,41 \sqrt{\frac{\ln \lambda f \bar{F}_3}{(\bar{F}_1 + \bar{F}_3) + \bar{F}_2 \sigma_{s2} / \sigma_{s3}}} \right]. \quad (14)$$

По полученной формуле (14) рассчитаны значения оптимальных углов волоки при заданных значениях коэффициента внешнего трения, коэффициента вытяжки ($\lambda = 1,15$) и приведенных площадей поперечного сечения триметаллического проводника.

На рис. 3 показаны результаты расчета оптимальных углов конусности волочильного инструмента в зависимости от значений отношения σ_{s2}/σ_{s3} . Видно, что с увеличением этого отношения значения $\alpha_B^{\text{опт}}$ снижаются. Уменьшение коэффициента трения за счет улучшения условия смазки приводит к снижению оптимальных углов.

ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные углы наклона образующей конического волочильного инструмента к оси волочения.
2. Знание оптимального угла обеспечивает снижение напряжения волочения, что позволяет уменьшить энергозатраты, повысить единичные обжатия и стойкость технологического инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров Г.Л., Чернова Т.В., Снигирева М.В. // Механика композ. материалов и конструкций. 2010. Т. 16, № 2. С. 191.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1972.