

ВЫВОДЫ

1. Метод пакетного волочения композитных осесимметричных изделий из разнородных материалов позволяет получать изделия с заданными физическими и механическими свойствами.

2. Сплошное равномерное и пропорциональное течение компонентов композитного изделия реализуется при волочении только после устранения всех технологических зазоров и пустот, образующихся при изготовлении сборок композитного изделия.

3. Процесс волочения композитных изделий определяется углом рабочего конуса волокна, величиной обжатия сечения за проход, условиями трения в зоне деформации и напряжением пластического течения компонентов биметаллического изделия.

4. Использование в качестве многоволоконного сердечника мягких металлов (таких, как медь, алюминий, олово и др.) приводит при волочении, даже при небольших суммарных обжатиях ($\leq 40\%$), к получению сплошных моносердечников. Можно предположить, что из-за наличия напряжений сжатия в волоке происходит холодная сварка волокон между собой, и многоволоконный сердечник становится моносердечником.

5. Многоволоконный сердечник из титана, несмотря на его склонность к холодному свариванию, требует большей суммарной деформации волочением ($\sim 65\%$) для полного схватывания отдельных волокон.

6. Безокислительный отжиг обеспечивает более прочное сцепление граничных поверхностей однородных и разнородных компонентов биметаллической проволоки при волочении.

7. Экспериментальным путем установлено, что после безокислительного отжига при волочении всех исследуемых композитных изделий реализуется схема сплошного пропорционального и равномерного течения компонентов изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Avitzur B., Wu R., Talbert S., Chou Y.T. // ASME J. Eng. Ind. 1986. Vol. 108. P. 133.
2. Seet H.L., Li X.P., Lee K.S., Liu L.Q. // J. Mater. Process. Technol. 2007. Vol. 192—193. P. 350.
3. Белошенко В.А., Варюхин В.Н., Дмитренко В.Ю. // Журн. техн. физики. 2009. Т. 79, вып. 12. С. 68.
4. Menge R., Grofl E., Hunal G. // WIRE. 1992. Vol. 42, № 6. P. 517.

УДК 621.777

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ

© 2014 г. Г.Л. Колмогоров, Н.А. Кошелева, Т.В. Чернова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)

Статья поступила в редакцию 06.08.2012 г., подписана в печать 10.09.2013 г.

Предложена методика определения оптимальных углов технологического инструмента при прессовании триметаллической заготовки. В основу оптимизации положено напряжение прессования, обеспечивающее минимальные энергозатраты при прессовании.

Ключевые слова: триметаллическая заготовка, прессование, оптимизация, минимизация, угол конусности, прессовый инструмент.

Колмогоров Г.Л. – докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой динамики и прочности машин ПНИПУ (614013, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 13). Тел.: (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Кошелева Н.А. – аспирант этой кафедры. E-mail: nataly.kosheleva@gmail.ru.

Чернова Т.В. – канд. техн. наук, доцент этой кафедры. E-mail: dpm@pstu.ru.

A procedure of determining the optimum angles of process tools for trimetal work-piece pressing is proposed. The pressing stress providing the minimum power consumption is taken as the basis of optimization.

Key words: trimetal work-piece, pressing, optimization, minimization, cone angle, pressing tool.

Технология получения низкотемпературных сверхпроводниковых материалов — многостадийный процесс. Важнейшими операциями, определяющими качество сверхпроводника, являются процессы прессования и многократного волочения с промежуточными термообработками [3].

В данной работе рассмотрена деформация прессованием триметаллической сборной заготовки, состоящей из медного сердечника радиусом R_2 , промежуточного слоя из сверхпроводникового материала (Nb—Ti или Nb) радиусом R_1 и медной оболочки наружным радиусом R_0 . На рис. 1 представлена схема сечения триметаллической сборной заготовки, а на рис. 2 — схема ее прессования.

Для каждого элемента данной заготовки определяется степень деформации, зависящая от коэффициента вытяжки и сдвиговых деформаций на входе в технологический инструмент и выходе из него [1].

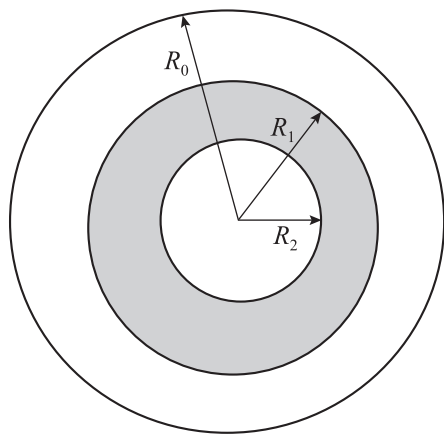


Рис. 1. Сечение триметаллической заготовки

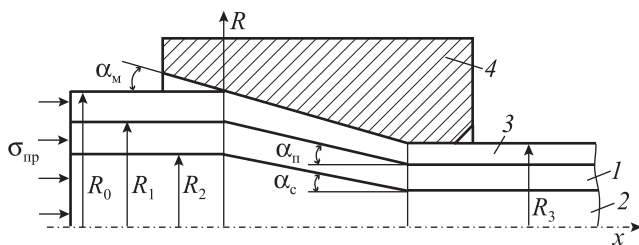


Рис. 2. Схема прессования триметаллической сборной заготовки

1 — промежуточный слой из сверхпроводникового материала (Nb—Ti или Nb); 2 — сердечник из меди; 3 — оболочка; 4 — прессовый инструмент

Полагаем, что при прессовании заготовки коэффициент вытяжки одинаков для сердечника, промежуточного слоя и оболочки. Для сердечника (см. рис. 2) средняя степень деформации равна

$$\varepsilon_{cp} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_c, \quad (1)$$

где α_c — угол наклона образующей сердечника к оси прессования, λ — коэффициент вытяжки.

Из геометрических соотношений следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha_c = (R_2/R_0) \operatorname{tg} \alpha_m. \quad (2)$$

Тогда с учетом (2) получим [2]

$$\varepsilon_{cp} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_2}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_m, \quad (3)$$

где $\lambda = R_0^2/R_3^2$ — коэффициент вытяжки, R_3 — радиус наружной поверхности триметаллической заготовки.

Аналогично найдем степень деформации для промежуточного слоя из сверхпроводникового материала:

$$\varepsilon_{cp} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{п}, \quad (4)$$

где $\alpha_{п}$ — угол наклона образующей промежуточного слоя к оси прессования.

Из геометрических соотношений имеем

$$\operatorname{tg} \alpha_{п} = (R_1/R_0) \operatorname{tg} \alpha_m. \quad (5)$$

Тогда с учетом (5) средняя степень деформации промежуточного слоя равна

$$\varepsilon_{cp} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_1}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_m. \quad (6)$$

Для оболочки можно записать

$$\varepsilon_{cp} = \ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_m. \quad (7)$$

Для усредненного значения сопротивления деформации сердечника составляющая напряжения, связанная с пластической деформацией сердечника, с учетом соотношений (3) составляет

$$\sigma_{пл}^c = \sigma_{s2}^c \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_2}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_m \right), \quad (8)$$

где σ_{s2}^c — среднее значение сопротивления деформации материала сердечника.

Соответственно для промежуточного слоя с учетом соотношения (6) имеем

$$\sigma_{пл}^c = \sigma_{s1}^c \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_1}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_M \right), \quad (9)$$

где σ_{s1}^c — среднее значение сопротивления деформации материала промежуточного слоя.

Напряжениям (8) и (9) соответствует доля полного усилия прессования сердечника и промежуточного слоя триметаллической заготовки [4]:

$$P_c = F_2 \left[\sigma_{s2}^c \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_2}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_M \right) \right] + F_1 \left[\sigma_{s1}^c \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \left(\frac{R_1}{R_0} \right) \operatorname{tg} \alpha_M \right) \right], \quad (10)$$

где F_1 и F_2 — площади сечения промежуточного слоя и сердечника соответственно.

Аналогичный расчет выполнен для наружной части (оболочки) триметаллической заготовки:

$$\sigma_{пл}^o = \sigma_{s0}^o \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_M \right), \quad (11)$$

где σ_{s0}^o — усредненное значение сопротивления деформации материала оболочки.

С напряжением (11) связана доля полного усилия прессования

$$P_0 = F_0 \sigma_{пл}^o, \quad (12)$$

где F_0 — площадь сечения оболочки.

Доля общего усилия прессования, пошедшего на пластическую деформацию, определяется суммой (10) и (12):

$$P_{пл} = \pi(R_0^2 - [R_2^2 + R_1^2]) \sigma_{s0}^o \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_M \right). \quad (13)$$

Для оболочки необходим учет сил трения в рабочей части зоны деформации. Проекция результирующей сил трения на ось прессования запишется в виде

$$T_M = \sigma_{s0}^o \pi R_3^2 (\lambda - 1) f \operatorname{ctg} \alpha_M. \quad (14)$$

В общем среднее напряжение прессования вклад от преодоления сил трения в зоне деформации составил

$$\sigma_M^o = \sigma_{s0}^o (\lambda - 1) f \operatorname{ctg} \alpha_M / \lambda. \quad (15)$$

Оптимальный угол наклона образующей матрицы к оси прессования определен из условия минимума полного напряжения прессования, при этом от угла α_M зависят лишь $\sigma_{пл}^c$, $\sigma_{пл}^o$, σ_M^c , поэтому условие минимума усилия прессования получено в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial (\operatorname{tg} \alpha_M)} (\sigma_{пл}^c + \sigma_{пл}^o + \sigma_M^o) = 0. \quad (16)$$

Суммарное напряжение прессования, включающее лишь величины, зависящие от α_M , выглядит так:

$$\begin{aligned} \sigma_\Sigma = & \sigma_{s2}^c \frac{R_2^2}{R_0^2} \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_2}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s1}^c \frac{R_1^2}{R_0^2} \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{R_1}{R_0} \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s0}^o \left(1 - \frac{R_2^2}{R_0^2} - \frac{R_1^2}{R_0^2} \right) \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s0}^o \frac{R_3^2}{R_0^2} (\lambda - 1) f \operatorname{ctg} \alpha_M. \end{aligned} \quad (17)$$

Выражение (17) после преобразований запишется в виде

$$\begin{aligned} \sigma_\Sigma = & \sigma_{s2}^c \bar{R}_2^2 \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \bar{R}_2 \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s1}^c \bar{R}_1^2 \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \bar{R}_1 \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s0}^o [1 - (\bar{R}_2^2 + \bar{R}_1^2)] \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_M \right) + \\ & + \sigma_{s0}^o \frac{1}{\lambda} (\lambda - 1) f \operatorname{ctg} \alpha_M, \end{aligned} \quad (18)$$

где $\bar{R}_1 = R_1/R_0$, $\bar{R}_2 = R_2/R_0$.

После дифференцирования выражения (18) по $\operatorname{tg} \alpha_M$ (с учетом того, что $\sigma_{s2}^c = \sigma_{s0}^o$), преобразований и упрощений получим

$$\alpha_M^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left\{ 1,14 \left[\frac{f(\lambda - 1)}{\lambda \left(\frac{\sigma_{s1}^c}{\sigma_{s0}^o} \bar{R}_1^3 - (\bar{R}_1 - \bar{R}_2^3 + \bar{R}_2 - 1) \right)} \right]^{1/2} \right\}. \quad (19)$$

На рис. 3 представлены результаты расчетов по формуле (19) для коэффициента трения $f = 0,1$ и соотношения $\sigma_{s1}^c/\sigma_{s0}^o = 3,3$. Данное соотношение

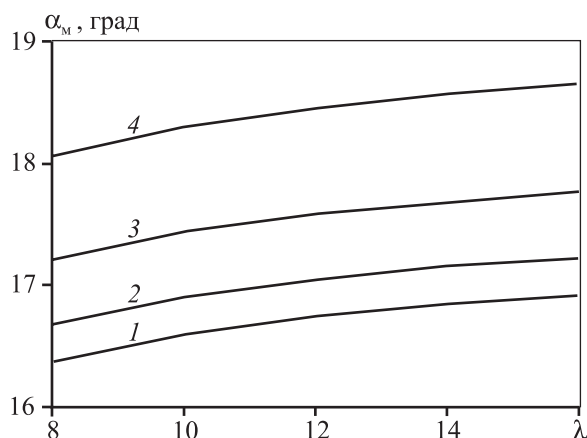


Рис. 3. Зависимость оптимального конусного угла от коэффициента вытяжки при прессовании триметаллической заготовки для коэффициента трения $f = 0,1$ и соотношения $\sigma_{s1}^c / \sigma_{s0}^o = 3,3$

1 – $\bar{R}_1 = 0,5, \bar{R}_2 = 0,25$; 2 – $\bar{R}_1 = 0,55, \bar{R}_2 = 0,3$;

3 – $\bar{R}_1 = 0,75, \bar{R}_2 = 0,5$; 4 – $\bar{R}_1 = 1,0, \bar{R}_2 = 0,75$

сопротивлений деформации сердечника и оболочки соответствует горячему ($600\text{ }^\circ\text{C}$) прессованию сверхпроводящей заготовки, состоящей из ниобиевого сердечника и медной оболочки. Для Nb при этой температуре $\sigma_s^c = 30$ МПа, для меди $\sigma_s^o = 9$ МПа [5].

Как видно из рис. 3, при прессовании триметаллической заготовки угол конусности технологического инструмента возрастает с увеличением коэффициента вытяжки. Повышение коэффициента трения также приводит к увеличению угла конусности матриц.

ВЫВОДЫ

1. Из условий минимума усилия прессования определены оптимальные углы матриц для прессования триметаллической заготовки. При этом учтены составляющие усилия прессования, содержащие угол конусности технологического инструмента.

2. Выявлены технологические параметры, влияющие на усилие прессования. Показано влияние вытяжки и коэффициента трения на значения оптимальных углов.

3. Применение матриц с оптимальным углом конусности позволяет снизить энергоёмкость процесса прессования при производстве низкотемпературных сверхпроводниковых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров Г.Л. Гидродинамическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1986.
2. Колмогоров Г.Л., Кошелева Н.А., Чернова Т.В. // Вестн. ПГТУ. Прикладная математика и механика. 2011. № 9. С. 116.
3. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Штуца М.Г., Чернова Т.В. Механика пластического деформирования трансверсально-изотропных композиционных сверхпроводниковых материалов. Пермь: ПНИПУ, 2011.
4. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. М.: Металлургия. 1975.
5. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1973.