

УДК 621.774.37 : 539.319

ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ВОЛОЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

© 2013 г. Г.А. Колмогоров, Т.В. Чернова, Ю.А. Власова, М.В. Снигирева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Предложена методика определения оптимальной геометрии волоочильного инструмента при волочении биметаллической заготовки. Из условия минимума напряжения волочения получены зависимости для определения оптимальных углов конусности волоочильного инструмента, обеспечивающих минимальные значения напряжения волочения и минимальные энергетические затраты при производстве биметаллических изделий.

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

A procedure of determining the optimum geometry of drawing tool is proposed for bimetal preform drawing. Based on the of minimum drawing stress condition, the dependences are obtained for determination of optimum drawing tool taper angles ensuring the minimum drawing stress and the minimum energy expenditures when bimetal articles are produced .

Key words: drawing, bimetal preform, superconductor, optimization.

Одним из способов широко применяемой обработки металлов давлением является волочение. Его технология заключается в протягивании заготовки через конический волоочильный инструмент, в результате чего ее сечение приобретает форму минимального сечения инструмента (рис 1). Пластическая деформация при волочении характеризуется коэффициентом вытяжки

$$\lambda = F_0 / F_1, \quad (1)$$

где F_0 и F_1 — площади сечения заготовки соответственно на входе в инструмент и выходе из него.

При волочении осесимметричных заготовок (проволока, прутки) формула (1) принимает вид

$$\lambda = d_0^2 / d_1^2, \quad (2)$$

где d_0 и d_1 — соответствующие диаметры до и после прохода волочения.

Другим важным показателем данного процесса является напряжение волочения:

$$\sigma_{\text{вол}} = P / F_1, \quad (3)$$

где P — приложенное к переднему концу заготовки усилие волочения.

Актуальная проблема волоочильного производства заключается в достижении минимальных значений $\sigma_{\text{вол}}$, что позволяет обеспечить минимальный расход энергии при волочении, увеличить единичные объемы (вытяжку) за счет снижения вероятности обрыва переднего конца заготовки и повысить стойкость технологического инструмента.

В настоящее время из существующих формул для определения напряжения волочения проволоки и прутков наиболее понятной по физическому смыслу и применимости для практических расчетов является формула И.Л. Перлина [1]:

$$\sigma_{\text{вол}} = 2 \ln(d_0 / d_1) [\sigma_s + f \text{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s - \sigma_0)] + \sigma_0, \quad (4)$$

где σ_s — среднее по зоне деформации значение сопротивления деформации, f — коэффициент внешнего трения, $\alpha_{\text{п}}$ — приведенный угол конусности волоочильного инструмента, σ_0 — напряжение противонапряжения.

Формула (4) широко используется в инженерной практике. Однако ее недостатком является то, что она не дает возможности определения оптимального значения угла конусности волоочильного инструмента. В то же время из теории и практики обработки

Колмогоров Г.А. — докт. техн. наук, проф., действ. чл. РАЕН, зав. кафедрой динамики и прочности машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614600, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29а). Тел.: (3422) 39-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Чернова Т.В. — канд. техн. наук, доцент той же кафедры. Тел. и e-mail те же.

Власова Ю.А. — студентка той же кафедры.

Снигирева М.В. — аспирантка той же кафедры.

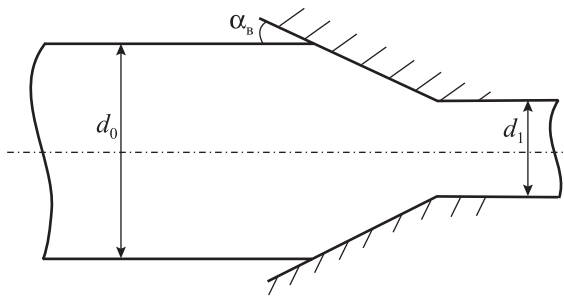


Рис. 1. Схема волочения монометаллического сверхпроводника

металлов давлением известно, что при деформации в конических инструментах (волочение, прессование, гидроэкструзия) существуют оптимальные значения углов конусности инструмента, которые обеспечивают минимальные затраты энергии при пластическом деформировании.

Данное обстоятельство связано с тем, что множитель $2\ln(d_0/d_1) = \ln\lambda$ в формуле (4), характеризующий степень деформации при волочении, не учитывает дополнительные сдвиговые деформации на входе в конический технологический инструмент и выходе из него.

Подобное уточнение степени деформации при деформировании в коническом технологическом инструменте выполнено в работе [2], в соответствии с которым средняя по сечению степень деформации определяется как

$$\varepsilon_{\text{ср}} = 2 \ln \frac{d_0}{d_1} + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (5)$$

где α_B — угол наклона образующей рабочего конуса волокна к оси волочения.

Второе слагаемое в формуле (5) соответствует учету сдвиговых деформаций при входе в конический инструмент и выходе из него.

С учетом сдвиговых деформаций формулы (5) возможно модифицировать формулу (4) и определить напряжение волочения следующим образом [3]:

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) [\sigma_s + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s - \sigma_0)] + \sigma_0, \quad (6)$$

при этом $\operatorname{tg} \alpha_{\text{п}} = 0,65 \operatorname{tg} \alpha_B$ [1].

Учет дополнительных сдвиговых деформаций позволяет определить оптимальные углы конусности волочительного технологического инструмента из условий минимума напряжения волочения.

Оптимальные значения угла конусности определяются из условия

$$\partial \sigma_{\text{вол}} / \partial \operatorname{tg} \alpha_B = 0. \quad (7)$$

Продифференцируем выражение (6) и с учетом преобразований получим

$$\operatorname{tg} \alpha_B = 1,414 \sqrt{f \ln \lambda (1 - \sigma_0 / \sigma_s)} \quad (8)$$

и, соответственно,

$$\alpha_B^{\text{опт}} = \arctg \left[1,414 \sqrt{f \ln \lambda (1 - \sigma_0 / \sigma_s)} \right]. \quad (9)$$

Принудительное противонапряжение в большинстве случаев отсутствует ($\sigma_0 = 0$), тогда соотношение (9) принимает вид

$$\alpha_B^{\text{опт}} = \arctg (1,414 \sqrt{f \ln \lambda}). \quad (10)$$

Данный подход использован для определения напряжения волочения биметаллической заготовки в форме проволоки и прутков (рис. 2). При этом рассматривается в отдельности деформация сердечника и деформация оболочки.

Так, напряжение волочения при деформации сердечника определяется соотношением

$$\sigma_{\text{вол}}^{\text{с}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_s^{\text{с}} + \sigma_0, \quad (11)$$

где $\sigma_s^{\text{с}}$ — сопротивление деформации материала сердечника.

При данном соотношении (11) полагаем, что оболочка и сердечник деформируются совместно без перемещения относительно друг друга, что позволяет принять коэффициент трения в соотношении (6) равным нулю.

Доля усилия волочения, приходящаяся на деформацию сердечника, составит

$$P_{\text{с}} = \sigma_{\text{вол}} F_{\text{с}} = F_{\text{с}} \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_B \right) \sigma_s^{\text{с}} + \sigma_0 \right], \quad (12)$$

где $F_{\text{с}}$ — площадь сечения сердечника на выходе из инструмента.

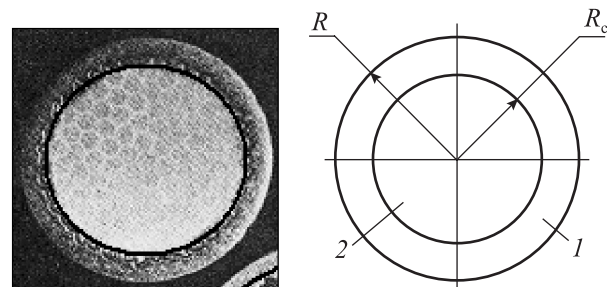


Рис. 2. Сечение биметаллической заготовки
1 — оболочка, 2 — сердечник

Соответственно напряжение волочения при деформации оболочки равно

$$\sigma_{\text{вол}}^{\circ} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) [\sigma_s^{\circ} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0)] + \sigma_0, \quad (13)$$

где σ_s° — сопротивление деформации материала оболочки.

Доля усилия волочения, приходящаяся на деформацию оболочки, при этом составит

$$P_o = \sigma_{\text{вол}} F_o = F_o \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \sigma_s^{\circ} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0) \right] + F_o \sigma_0, \quad (14)$$

где F_o — площадь сечения оболочки на выходе, f — коэффициент трения в зоне деформации.

Общее усилие волочения биметаллической заготовки будет равно

$$P_{\text{вол}} = P_c + P_o,$$

а после подстановки выражений (12), (14) и преобразований составит

$$P_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \times \{ \sigma_s F_c + F_o [\sigma_s^{\circ} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0)] \} + \sigma_0 (F_c + F_o). \quad (15)$$

Данному усилию волочения соответствует среднее по сечению биметаллической заготовки напряжение волочения

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \times \{ \sigma_s \bar{F}_c + \bar{F}_o [\sigma_s^{\circ} f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0)] \} + \sigma_0, \quad (16)$$

где $\bar{F}_c = F_c/F_1$ — относительная площадь сердечника, $\bar{F}_o = F_o/F_1$ — относительная площадь оболочки, F_1 — площадь сечения биметаллической заготовки на выходе.

Условие минимума напряжения волочения (16) после дифференцирования и преобразований дает

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = 1,414 \sqrt{\frac{f \bar{F}_o (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0) \ln \lambda}{\bar{F}_c \sigma_s^{\circ} + \bar{F}_o \sigma_s^{\circ}}}$$

и, соответственно,

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,414 \sqrt{\frac{f \bar{F}_o (\sigma_s^{\circ} - \sigma_0) \ln \lambda}{\bar{F}_c \sigma_s^{\circ} + \bar{F}_o \sigma_s^{\circ}}} \right]. \quad (17)$$

В условиях отсутствия принудительного про-

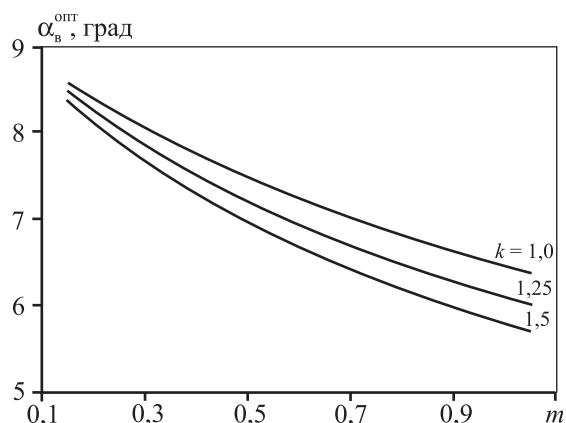


Рис. 3. Оптимальные углы при волочении биметаллической заготовки

тивонапряжения ($\sigma_0 = 0$) соотношение (17) принимает вид

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,414 \sqrt{\frac{f \bar{F}_o \sigma_s^{\circ} \ln \lambda}{\bar{F}_c \sigma_s^{\circ} + \bar{F}_o \sigma_s^{\circ}}} \right]. \quad (18)$$

Формулу (18) можно представить также следующим образом:

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \operatorname{arctg} \left[1,414 \sqrt{\frac{f \ln \lambda}{mk + 1}} \right], \quad (19)$$

где $m = \bar{F}_c^{\circ} / \bar{F}_o$ — показатель, характеризующий соотношение площадей сердечника и оболочки; $k = \sigma_s^{\circ} / \sigma_s^{\circ}$ — показатель, характеризующий соотношение механических свойств материалов сердечника и оболочки.

На рис. 3 приведены результаты расчета оптимальных углов волочильного инструмента при производстве биметаллических изделий для $\lambda = 1,15$ в зависимости от параметра m для различных значений k . Расчеты выполнены для коэффициента трения $f = 0,1$. Из рис. 3 следует, что с увеличением m значения оптимальных углов конусности рабочей волоки уменьшаются. Возрастание k также приводит к снижению $\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}}$.

ВЫВОДЫ

1. Получены аналитические зависимости для усилия и среднего напряжения при волочении биметаллической заготовки.

2. Определены оптимальные углы конусности волочильного инструмента, обеспечивающие минимальные значения напряжения волочения и минимальные энергетические затраты при производстве биметаллических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1972.
2. Колмогоров Г.Л. Гидродинамическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1986.
3. Колмогоров Г.Л., Филиппов В.Б., Латышева Т.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2007. № 4. С. 41.

УДК 669.715

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ФАЗ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АЛЮМИНИЕВЫМ СПЛАВАМ РАЗНЫХ СИСТЕМ ЛЕГИРОВАНИЯ

© 2013 г. Н.А. Белов

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

С использованием программы «Thermo-Calc» проанализированы многокомпонентные системы на основе алюминия с целью определения концентрационных границ появления первичных кристаллов Fe-содержащих фаз. Рассчитаны проекции поверхностей ликвидуса применительно к промышленным литейным сплавам трех основных групп: Al-Si (силумины), Al-Cu (типа AM5) и Al-Mg (магналии). Показано, что наиболее вероятна первичная кристаллизация следующих Fe-содержащих фаз: в силуминах – Al_3FeSi и $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$, в магналиях и сплавах типа AM5 – Al_3Fe и $Al_6(Fe, Mn)$. На основе расчета параметров первичной кристаллизации Fe-содержащих фаз показана возможность оценки эффективности очистки алюминиевых расплавов от железа.

Ключевые слова: фазовые диаграммы, первичная кристаллизация, Fe-содержащие фазы в алюминиевых сплавах.

«Thermo-Calc» program has been used for analyzing the aluminum based multicomponent systems for the purpose of determination of concentration boundaries when primary crystals of Fe-containing phases become to appear. The melting diagrams applied to industrial cast alloys of three basic groups: Al-Si (silumins), Al-Cu (AM5 type) and Al-Mg (magnalium) are calculated. The most probable reason of crystallization of the following Fe-containing phases is shown to be Al_3FeSi and $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$ in silumins and Al_3Fe and $Al_6(Fe, Mn)$ in AM5 type alloys. The opportunity of estimating the efficiency of aluminum melt treatment from iron is shown on the basis of primary crystallization parameter calculation of Fe-containing phases.

Key words: phase diagrams, primary crystallization, Fe-containing phases in aluminum alloys.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение доли вторичного сырья для производства марочных алюминиевых сплавов (прежде всего литейных) повышает риск загрязнения их железом, которое в большинстве случаев является нежелательной примесью [1–3]. Особенно опасны первичные кристаллы Fe-содержащих фаз (ПК ЖФ), поскольку из-за крупных размеров они приводят к резкому снижению механических свойств. Концентрация железа, при которой образуются ПК ЖФ, в значительной степени зависит от состава сплава,

что вытекает из анализа многокомпонентных диаграмм состояния [2–4]. В связи с этим становится актуальным проведение количественного анализа формирования ПК ЖФ применительно к промышленным алюминиевым сплавам разных систем легирования.

Именно такой анализ и является главной целью данной статьи. В ней обобщен многолетний опыт автора как в области количественного анализа многокомпонентных фазовых диаграмм [3], так и в об-

Белов Н.А. – докт. техн. наук, директор Инжинирингового центра «Инновационные литейные технологии и материалы» НИТУ «МИСиС» (119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4). Тел.: (495) 951-19-28. E-mail: nikolay-belov@yandex.ru.