

В процессе пластического сжатия образцов изменяется знак деформации и это проявляется в частичном разупрочнении металла. Причиной являются дислокационные барьеры при протекании через образец постоянного тока.

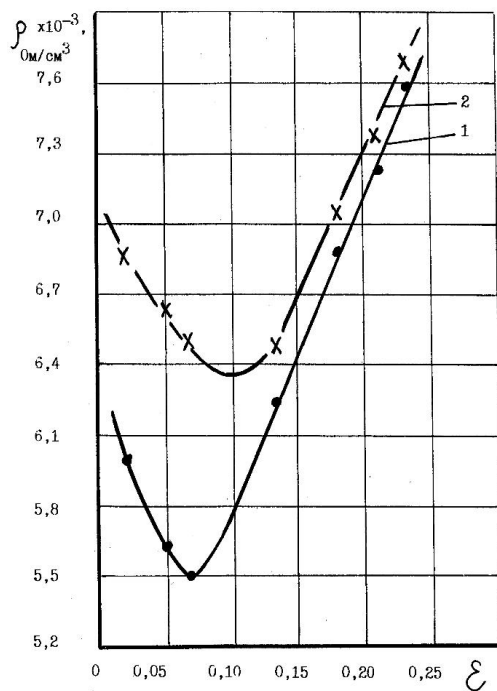


Рис. 2. Изменение удельного электрического сопротивления металла при осадке цилиндров из калиброванной стали 20:

1 – время старения 1 сут; 2 – время старения 14 сут

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие обобщения:

Экстремальное изменение твердости соответствует всему деформированному объему в осажённых стальных цилиндрах. Однако наиболее интенсивный спад твердости происходит в центральной зоне цилиндров, где имеет место наибольшее разупрочнение металла в связи с проявлением эффекта Баушингера.

Получено также экстремальное изменение электрического сопротивления единичных объемов металла с минимальными значениями в диапазоне экстремальной степени деформации сжатия 0,07–0,10, которые оказываются близкими к значениям по твердости (см. рис. 1).

При увеличении времени старения металла от 1 до 14 сут уменьшается удельное электрическое сопротивление деформированного металла, что объясняется переходом атомов углерода и азота из равномерного распределения в твердом растворе к скоплениям на дислокациях.

В целом можно отметить наибольшую эффективность, доступность и простоту метода удельного электрического сопротивления, когда не требуется трудоемкое изготовление шлифов и многократное измерение твердости. Благодаря высокой точности контроля появляется возможность достоверной оценки структурного состояния металла, его упрочнения и изменения разупрочняющего эффекта на технологических операциях осадки и высадки цилиндрических заготовок. Поэтому можно рекомендовать данный метод при проведении металлофизических исследований в процессах холодной деформационной обработки металла с изменением знака пластической деформации.

Список литературы

1. Герасимов В.Я. О циклах разупрочнения металла при осадке цилиндров // Изв.вузов. Черная металлургия. 1983. № 2. С.51–54.
2. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. М.: Машиностроение, 1984. 120 с.
3. Герасимов В.Я. Исследование эффекта Баушингера при знакопеременной пластической деформации калиброванной стали // Изв. АН СССР. Металлы. 1980. № 4. С.171–173.

Bibliography

1. Gerasimov V.Y. On metal annealing cycles during setting of cylinders // Izv.vusov. Iron industry.1983. № 2. P.51–54.
2. Vladimirov Y.V., Gerasimov V.Y. Technological principles of cold heading of rod-shaped fastening ware. – M.: Machine building, 1984. 120 p.
3. Gerasimov V.Y. Study of Bauschinger effect during reversed plastic deformation of standardised steel // Izv. Academy of Sciences of USSR Metals. 1980. № 4. P.171–173.

УДК 621.777

Горохов Ю.В., Осипов В.В., Солопко И.В., Катрюк В.П.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ КОНФОРМ

Определен характер распределения температуры прессуемого металла в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом Конформ путем решения методом вариационного исчисления уравнений стационарной теплопроводности, учитывающих тепловыделение и конвекцию тепла в процессе пластической деформации.

Ключевые слова: непрерывное прессование, совмещенные процессы, метод конформ, контейнер, инструмент, металл, температурное поле, теплопроводность, распределение температуры, деформационная зона

Character of distribution of temperature of the pressed is defined threw in a deformation zone at continuous pressing of Conform by the way by the decision a method of calculus of variations of the equations of the stationary heat conductivity considering a thermal emission and a convection of heat in the course of plastic deformation.

Key words: continuous extrusion, concurrent processes, method conform, container, tool, metal, temperature field, heat conductivity, temperature distribution, deformation zone.

В последние годы в области теоретических и технологических исследований процессов производства фасонных профилей из цветных металлов все большее внимание уделяется разработке способов непрерывного прессования. Реализация схем непрерывного прессования осуществлена на различных установках, отличающихся конструкцией, технологическими возможностями и производительностью [1,2]. Наибольшее применения в прессовом производстве получили устройства, действие которых основано на использовании сил контактного трения между заготовкой и подвижной частью разъемного контейнера для выдавливания металла в отверстие матрицы, установленной в неподвижной части контейнера (рис. 1).

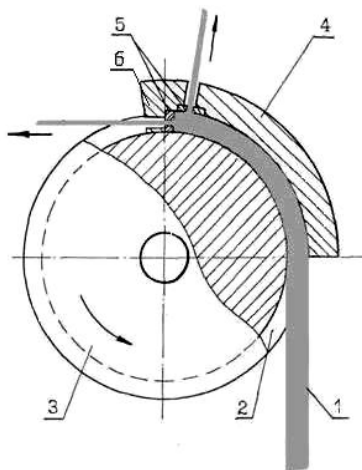


Рис. 1. Схема устройства для непрерывного прессования с горизонтальной осью вращения колеса: 1 – заготовка; 2 – ручей; 3 – вращающееся колесо; 4 – матрицедержатель; 5 – матрицы, 6 – упор

Этот способ непрерывного прессования, предложенный в 1971 году Д. Грином, получил название Конформ и осуществляется следующим образом: прутковая заготовка 1 подается в разъемный контейнер, образованный сопряжением ручья 2 приводного колеса 3 с неподвижным сегментом 4 и упором 6, перекрывающим сечение ручья. По мере вращения колеса 3 пруток 1 под действием сил трения по поверхности ручья 2 продвигается к матрице 5 и выдавливается в ее отверстие. При этом пруток разогревается до температуры, величина которой зависит от свойств прессуемого металла и технологических факторов процесса. Осуществление непрерывного прессования металла при оптимальном температурно-скоростном режиме обеспечивает высокие показатели качества пресс-изделий, стойкости прессового инструмента и оснастки, поэтому определение характера распределения температуры прессуемого металла в очаге деформации является актуальной задачей при проектировании технологического процесса прессования способом Конформ. В ре-

зультате изучения теплового эффекта при непрерывном прессовании предложен ряд теоретических и экспериментальных формул для определения температуры металла в деформационной зоне [3]. Дальнейшее развитие методов решения тепловой задачи при непрерывном прессовании металлов способом Конформ целесообразно проводить на основании анализа энергетического состояния очага пластической деформации с применением принципа вариационного исчисления для решения уравнений теплопроводности, учитывающих тепловыделение и конвекцию тепла в процессе пластической деформации.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c \theta) = \lambda \nabla^2 \theta + \text{grad} \lambda \cdot \text{grad} \theta + TH - \vec{v} \text{grad}(\rho c \theta), \quad (1)$$

где c, ρ, λ – соответственно удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности среды; \vec{v} – скорость перемещения частиц среды; ∇^2 – оператор Лапласа; θ – температура; T – интенсивность касательных напряжений; H – интенсивность скоростей деформаций сдвига.

Если c, ρ, λ – постоянные, то уравнение (1) примет вид

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \nabla^2 \theta + TH - \rho c \vec{v} \text{grad} \theta. \quad (2)$$

В случае стационарного изотермического процесса деформирования, когда температура от времени не зависит, уравнение (2) принимает вид

$$\lambda \nabla^2 \theta + TH - \rho c \vec{v} \text{grad} \theta = 0. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена схема деформационной зоны при непрерывном прессовании Конформ, полученная на основании изучения особенностей пластического течения разноцветного пластилина [4] при его выдавливании в отверстие матрицы из разъемного контейнера, имеющего подвижную и неподвижную части.

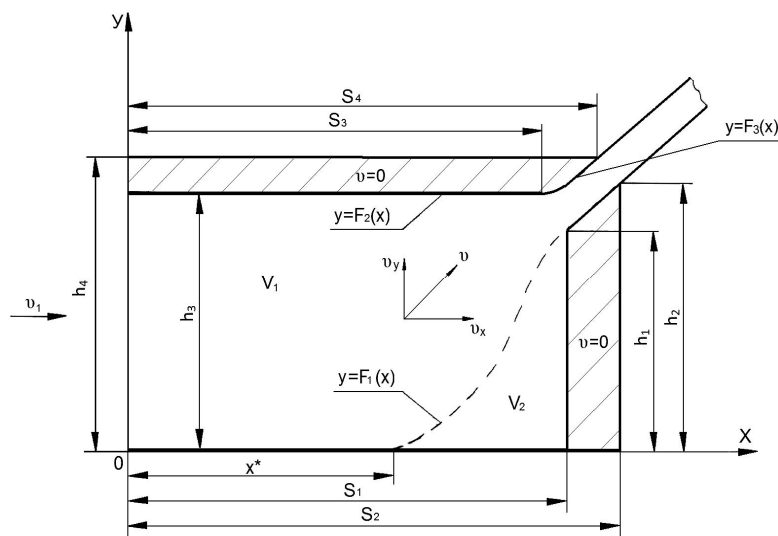


Рис. 2. Расчетная схема деформационной зоны процесса непрерывного прессования Конформ

Поверхность S разъемного контейнера с деформируемым материалом можно разделить на части S_1, S_2, S_3, S_4 , на которых необходимо задать граничные условия различного рода:

на S_1 задано условие первого рода

$$\theta = f(M, t), \quad (4)$$

где f – заданная функция координат точки M и времени t ;

на S_2 задано условие второго рода

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \varphi(M, t), \quad (5)$$

где n – направление внешней нормали; φ – заданная функция;

на S_3 задано условие третьего рода

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \alpha(\theta - \theta_{cp}), \quad (6)$$

где α – коэффициент теплообмена между телом и окружающей средой; θ_{cp} – температура окружающей среды;

на S_4 задано условие четвертого рода

$$\theta = \theta_{cp}, \quad \lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \lambda_{cp} \frac{\partial \theta_{cp}}{\partial n} \quad (7)$$

где λ_{cp} – коэффициент теплопроводности среды.

На схеме непрерывного прессования, изображенной на рис. 2, можно выделить зону пластического течения и жесткопластическую зону, находящуюся перед упором. Граница между этими зонами описывается функцией $y = F_1(x)$. Исходя из этого в тепловой задаче необходимо рассматривать два уравнения стационарной теплопроводности:

$$\lambda \nabla^2 \theta_1 - \rho c \bar{v} \text{grad} \theta + TH = 0; \quad (8)$$

$$\lambda \nabla^2 \theta_2 = 0, \quad (9)$$

где $\theta_1(x, y)$ – температура металла в пластической зоне; $\theta_2(x, y)$ – температура металла в жесткопластической зоне.

Зададим граничные условия для температур θ_1, θ_2 :

1) на входе в пластическую зону при $x = 0$:

$$\theta_1(0, y) = \theta_0 \quad (10)$$

где θ_0 – заданная температура исходной заготовки;

2) на поверхности контакта металла с ручьем колеса при $y = 0$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_K) - 0,5 \mu_K \tau_S |v - v_1|; \quad (11)$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_2 - \theta_K) - 0,5 \mu_K \tau_S v_1, \quad (12)$$

где α – коэффициент теплообмена; θ_K – температура колеса; μ_K – коэффициент трения по поверхности ручья колеса; v_1 – скорость подачи заготовки в контейнер; v – скорость течения металла в пластической зоне.

3) на поверхности контакта металла с неподвижным сегментом при $y = F_2(x)$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_C) - 0,5 \mu_C \tau_S v, \quad (13)$$

где θ_C – температура сегмента; μ_C – коэффициент трения по поверхности сегмента;

4) на поверхности контакта металла с упором при $x = S_1$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_y), \quad (14)$$

где θ_y – температура упора, $\theta_y = \theta_C$;

5) на поверхности, разделяющей пластическую и жесткопластическую зоны при $y = F_1(x)$:

$$\theta_1 = \theta_2, \quad (15)$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} + \lambda \frac{\partial \theta_2}{\partial n} = -\tau_S v; \quad (16)$$

б) на поверхности выхода металла из отверстия матрицы $y = F_3(x)$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = 0. \quad (17)$$

Функционал теплопроводности, соответствующей уравнениям (8), (9) и граничным условиям (10)–(17), имеет вид:

$$\begin{aligned} \Phi[\theta_1, \theta_2] = & \int_{V_1} \left[0,5\lambda(\text{grad}\theta_1)^2 + \int_{\theta_0}^{\theta_1} (\rho c \bar{v} \text{grad}\theta - TH) d\theta \right] dV + \\ & + \int_{V_2} 0,5\lambda(\text{grad}\theta_2)^2 dV + \\ & + \int \left[\alpha(0,5\theta_1^2 - \theta_1\theta_K) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_K \tau_S |v - v_1| d\theta \right] dS - \\ & - \int_{S_3} \left[\int_{\theta_0}^{\theta_1} \tau_S v d\theta \right] dS + \int \left[\alpha(0,5\theta_1^2 - \theta_1\theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_C \tau_S v d\theta \right] dS + \\ & + \int \left[\alpha(0,5\theta_1^2 - \theta_1\theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_y \tau_S \bar{v} d\theta \right] dS + \\ & + \int \left[\alpha(0,5\theta_1^2 - \theta_1\theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_C \tau_S v d\theta \right] dS + \\ & + \int_{S_4} \left[\alpha(0,5\theta_1^2 - \theta_1\theta_K) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_y \tau_S v_1 d\theta \right] dS + \\ & + \int \alpha(0,5\theta_2^2 - \theta_2\theta_y) dS. \end{aligned} \quad (18)$$

В выражении (18) введены обозначения: μ_y – коэффициент трения по поверхности упора сег-

мента; V_1 – объем пластической зоны; V_2 – объем жесткопластической зоны;

S_2 – поверхность $0 \leq x \leq x^*$, $y=0$;

S_3 – поверхность $x^* \leq x \leq S_1$, $y=F_1(x)$;

S_4 – поверхность $S_1 \leq x \leq S_2$, $y=F_1(x)$

S_6 – поверхность $0 \leq x \leq S_4$, $y=F_2(x)$;

S_7 – поверхность $x^* \leq x \leq S_1$, $y=0$;

S_8 – поверхность $x=S_1$, $0 \leq y \leq h_1$.

Действительное температурное поле $\theta_1(x, y)$, $\theta_2(x, y)$ дает минимум функционалу (18). Минимизацию функционала (18) целесообразно провести методом Рунге. Зададим температуру в виде:

$$\theta_1 = \theta_0 + \sum_{k=1}^{N_A} A_k a_k(x, y); \quad (19)$$

$$\theta_2 = \theta_0 + \sum_{k=1}^{N_A} A_k a_k(x, y) + \sum_{k=1}^{N_B} B_k b_k(x, y)$$

где $a_k(x, y)$, $b_k(x, y)$ – функции координат; A_k , B_k – варьируемые постоянные.

После подстановки (19) в выражение (18) и взятия интегралов функционал становится функцией варьируемых параметров A_k , B_k и его минимум находится путем решения относительно A_k , B_k систем уравнений:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial A_k} = 0, \quad k = 1, \dots, N_A; \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial B_k} = 0, \quad k = 1, \dots, N_B.$$

Уравнение (20) представляют собой систему линейных алгебраических уравнений вида:

$$\sum_{l=1}^{N_A} F_{kl}^{(AA)} A_l + \sum_{l=1}^{N_B} F_{kl}^{(AB)} B_l = F_k^{(A)}, \quad k = 1, \dots, N_A; \quad (21)$$

$$\sum_{l=1}^{N_A} F_{kl}^{(BA)} A_l + \sum_{l=1}^{N_B} F_{kl}^{(BB)} B_l = F_k^{(B)}, \quad k = 1, \dots, N_B,$$

где коэффициенты F представляют из себя суммы объемных и поверхностных интегралов от координатных функций a_k , b_k . Функции a_k , b_k должны выбираться так, чтобы точно выполнялись граничные условия (10) и (15).

Решение этих уравнений с применением программного обеспечения не представляет трудностей и может использоваться при проектировании технологических процессов непрерывного прессования металлов методом Конформ.

Список литературы

1. Современные способы непрерывного прессования труб, профилей и проволоки / Локшин М.З., Шамраев В.Н., Авдеев В.В., Богатов В.Ю. // Технология легких сплавов. 1992. №10. С. 60–65.
2. Горохов Ю.В., Солопко И.В., Суслов В.П. Расчет минимальной длины контейнера при непрерывном прессовании способом «Конформ» // Цветные металлы. 2010. №10. С. 81–85.
3. Определение температуры металла в очаге деформации при непрерывном прессовании методом Конформ / Горохов Ю.В., Сергеев В.М., Гилевич Ф.С. и др. // Технология легких сплавов. 1989. №12. С. 27–29.
4. Особенности пластического течения материала заготовки в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом «Конформ» / Горохов Ю.В., Солопко И.В., Суслов В.П., Крылов М.А. // Цветные металлы. 2010. №12. С. 69–71.

Bibliography

1. Lokshin M. Z., Shamraev V. N., Avdeev V. V., Bogatov V. Ju. Modern ways of continuous pressing of pipes, profiles and a wire // Technology of easy alloys. 1992. №10. P.60–65.
2. Gorohov J.V., Solopko I.V., Suslov V.P. Raschet of the minimum length of the container at continuous pressing by way «Konform» // Nonferrous metals, 2010. №10. P.81–85.
3. Definition of temperature of metal in the deformation center at continuous pressing by a method of Konform / Gorohov J.V., Sergeev V. M., Gilevich F.S., etc. // Technology of easy alloys. 1989. №12. P.27–29.
4. Features of a plastic current of a material of preparation in a deformation zone at continuous pressing by way «Konform» / Gorohov J.V., Solopko I.V., Suslov V. P., Krylov M. A. // Nonferrous metals. 2010. №12. P.69–71.

УДК 621.77

Огарков Н.Н., Шеметова Е.С.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОБОЛОЧКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ

Выполнен теоретический анализ процесса волочения биметаллической проволоки. Получены теоретические зависимости по определению толщины оболочки, при которой ее материал теряет устойчивость, что, как следствие, приводит к вспучиванию при волочении. Представлены значения полууглов волоки, соответствующие потере устойчивости при деформировании оболочки в зависимости от степени деформации, условий трения оболочки на поверхностях контакта с волокой и сердечником и от показателя упрочнения материала оболочки.

Ключевые слова: биметаллическая проволока, плакирующая оболочка, устойчивость деформации, внеконтактная деформация, полуугол волоки.

Run the theoretical analysis of the process of dragging bimetallic wire. Based on the definition of received theoretical shell thickness when her material loses sustainability and as a result, it vspuchivaniû with volocheni. Shows the values poluuglov lines corresponding to loss of stability in strain of shell depending on the degree of deformation conditions friction shell on surfaces in contact with volokoj and cored, and from the mechanisms of material shell.

Key words: BI-metallic strip wire, plakiruûsaâ shell, sustainability deformation, vnekontaktnaâ deformation, poluugol lines.