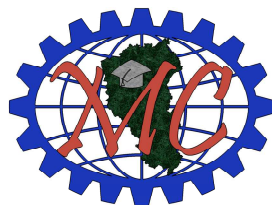


**Scientific-educational center
"MachineStructure"**



ISSN 2307-342X

MODERN PROBLEMS OF THEORY OF MACHINES

Sovremennyye problemy teorii mašin

№ 4(1)



North Charleston, USA, 2016

UDC 621.01 : 531.8

Modern problems of theory of machines / SEC "MS". – North Charleston: CreateSpace, 2016. – №4(1). – 210 p.

ISSN 2307-342X

Themes of journal: 1) Basic researches in the field of mechanical engineering; 2) Science and education in the field of mechanical engineering; 3) Theory of mechanisms and machines; 4) Modern methodology of designing of machines and mechanisms; 5) Dynamics and strength of machines, devices and equipment; 6) Mechanics of deformable solid; 7) Innovative equipment and technologies in mechanical engineering. Materials can be useful for scientific and technical officers, post-graduate students and students machine-building a profile.

Editorial Board:

Zhukov I.A., Popugaev M.G., Dvornikov L.T., Khaidukova Ya.A., Stepanov A.V., Sadieva A.E., Gudimova L.N., Shaposhnikov I.-I.D., Gubanov E.F.

Full text of articles available on the website:

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=40371

Journal "Modern problems of theory of machines" included in the following databases citation:

Science Index: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=40371

Ulrich's International Periodicals Directory:

<http://ulrichsweb.serialssolutions.com/>

Index Copernicus:

<http://journals.indexcopernicus.com/+++,p24781142,3.html>

General Impact Factor:

<http://generalimpactfactor.com/jdetails.php?jname=Modern%20Problems%20of%20Theory%20of%20Machines>

Institute of Organized Research (I2OR): <http://www.i2or.com/indexed-journals.html>

Copyright © 2016 Authors, SEC «MS»

All rights reserved.

ISBN: 1530291437

ISBN-13: 978-1530291434

Министерство образования и науки Российской Федерации

Научно-образовательный центр «МашиноСтроение»

Сибирский государственный индустриальный университет

Новокузнецкий филиал-институт

Кемеровского государственного университета

Кыргызский государственный технический университет

им. И. Раззакова

Кузбасский научный центр Сибирского отделения

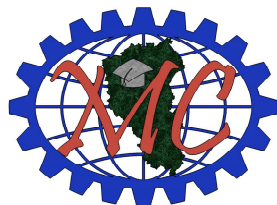
Международной Академии Наук Высшей школы

Институт промышленного проектирования угольных
предприятий

ISSN 2307-342X

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ МАШИН

№ 4(1)



Норт-Чарлстон, 2016

УДК 621.01 : 531.8

ББК 34.41

C56

C56 **Современные проблемы теории машин / НОЦ
«МС».** – Норт-Чарлстон: CreateSpace, 2016. – №4(1). – 210 с.

ISSN 2307-342X

Тематика журнала: 1) Фундаментальные исследования в области машиностроения; 2) Наука и образование в области машиностроения; 3) Теория механизмов и машин; 4) Современная методология проектирования машин и механизмов; 5) Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры; 6) Механика деформируемого твердого тела.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов машиностроительного профиля.

Редакционная коллегия:

Гл. редактор: *Жуков И.А.* – и.о. зав. кафедрой теории и основ конструирования машин СибГИУ, директор НОЦ «МашиноСтроение», к.т.н., доцент.

Зам. гл. редактора: *Попугаев М.Г.* – доцент кафедры теории и основ конструирования машин СибГИУ, к.т.н.

Технический секретарь: *Хайдукова Я.А.*

Члены:

Дворников Л.Т. – профессор кафедры теории и основ конструирования машин СибГИУ, д.т.н., профессор; *Степанов А.В.* – профессор кафедры систем автоматизации управления НФИ КемГУ, д.т.н., доцент; *Садиева А.Э.* – профессор кафедры механики КГТУ (Кыргызстан), д.т.н., доцент; *Гудимова Л.Н.* – доцент кафедры теории и основ конструирования машин СибГИУ, к.т.н., доцент; *Шапошников И.-И.Д.* – к.т.н. (Германия); *Губанов Е.В.* – к.т.н., гл. специалист технологического отдела Промуглепроект.

Полные тексты статей доступны на сайте <http://elibrary.ru>.

Журнал «Современные проблемы теории машин» включен в следующие базы данных цитирования: РИНЦ, Ulrich's International Periodicals Directory, Index Copernicus, General Impact Factor, Institute of Organized Research (I2OR).

Copyright © 2016 Authors, SEC «MS»

All rights reserved.

ISBN: 1530291437

ISBN-13: 978-1530291434

CONTENTS

Basic researches in the field of mechanical engineering

Kuznetsova V.N. Analysis of optimization results parametres of working cutting tool earthmoving equipment for frozen grounds excavation	9
Ragrin N A. Features of planning of experiment in researches of firmness of the cutting tools	12
Levchenko E.P., Vishnevsky D.A., Vlasenko D.A., Moroz B.B., Pavlinenko O.I. Features of mathematical modelling of mechanical processes of metallurgical machines	14
Kuanysh Turusbekov, Yerkingali Tileugali, Yermek Abilmazhinov, Bolat Manezhanov. Analysis of the soil cutting process for the intensity of treatment	17
Koporushkin P.A. Parametric models calculation algorithms and their application in the kinematic analysis	20
Koporushkin P.A. Application of the DM-decomposition in parametric model computation.....	24
Pereverzev P.P., Akintseva A.V., Vlasov I.S. Optimization of cycles of internal grinding by method of dynamic programming in three-dimensional space of technological restrictions and several managing directors	27
Volkova S.L., Vorobeva I.V., Koporushkin P.A. Import substitution in CAD systems	30

Science and education in the field of mechanical engineering

Egodurov G.S., Dambaev J.G., Tsyngeev D.Ts. Mathcad calculations and research elements of construction.....	34
--	----

Theory of mechanisms and machines

Stepanov A.V. Analysis of methods of calculation of composition of kinematics chains and their realization	43
Popugaev M.G. Update to three structural synthesis of kinematic joint.....	55
Shevchenko S.V., Muhovaty A.A., Krol O.S. Breakdown gear ratio two-stage worm reducer on stage	60
Djamankulov A.K. Autoregulator`s work parameters of brake systems during unwinding of eccentric model of warping packing.....	65
Djamankulov A.K. Autoregulator`s work parameters of brake systems during unwinding of perfect model of warping packing	70

Grebyonkin V.Z., Zolotarev Y.V. Comparative analysis on emissions of wear particles in elements of kinematic pairs in the process of wave mechanisms in microelectronic production.....	74
Krakhmalev O.N., Petreshin D.I., Fedonin O.N. The method of correcting integral deviations industrial robots	78

Modern methodology of designing of machines and mechanisms

Nizovskikh A.S., Koporushkin P.A., Tarasenko R.R. Problems of parametric approach in some modern CAD	83
Bukina S.V. Designing forming mechanism looms rational with design parameters	86
Lebedev D.A., Shuvaev D.A. Conceptual model of a cleaning machine for fiber	91

Dynamics and strength of machines, devices and equipment

Zhukov I.A. Systematization of technical solutions geometry of anvil blocks of mining percussion machines.....	96
Egodurov G.S., Bohtectueva E.B., Baldanov A.B. Simulation of tracked vehicle motion while accidental kinematic action.....	107
Rudovsky P.N., Palochkin S. V. Dispersion of energy of fluctuations in textile forgings.....	114
Eremjants V.E., Niu V.V. Two-layer plate stress condition under longitudinal impact by tool resting on the plate	123
Eremjants V.E., Kolesnikov N.A. Influence of the rocker's bearing support rigidity on dynamic reactions in the rocker impact system	127
Doroshev Yu.S., Nikolaychuk A.N., Nikolaychuk D.N. Improving the reliability and lifetime of the bearings of electrical machines mining shovels.....	133
Krutsilo V.G. Tthe restoration of gte blades thermoplastic hardening.....	138

Mechanics of deformable solid

Rudaev Ya.I., Sulaymanova S.M. Pressing process modelling rectangular strip in the modes superplasticity.....	143
Bidahmetova A.Z., Karibaeva Z.K., Tyrusbekov K.S., Zhailaybaeva S.D. Evaluation system deformations during machining cutting.....	156
Malinin V.G., Mussau Yu.Yu. Theoretacal research of martensitic inelasticity of alloys with shape memory effect while deforming under isothermal trajectories by archimedes spiral	160

Innovative equipment and technologies in mechanical engineering

Anisimov V.V. From Frederick Tailor to system “lean–manufacturing”	168
Masyagin V.B., Muholzoev A.V. Features of the application of the concept of edge in the dimensional analysis	172
Arefinkina S.E., Denisov R.A., Morozov A.A., Surin V.I. Relationship between deformational activity of the surface and electric properties of materials	177
Ayman Abu Ghazal, Denisov R.A., Lisenkov A.V., Surin V.I. Method for evaluation of contact mechanical stress in gear mechanism	184
Aristova E.N., Ponomarev S.G., Stoykov M.I. Promising carbon materials for reflectors of nuclear research reactors	188
Papsheva N.D. Application of ultrasound for increase of reliability of details of machines and tools	194
Guruleva M.A. Control of draw-off snowplow operating elements with mapping radar-Doppler channel use	197

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В РЕЖИМАХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Рудаев Я.И., Сулайманова С.М.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек

Ключевые слова: сверхпластичность, прессование, задача оптимизации, объемное формоизменение.

Аннотация. Рассматривается аналитическое решение технологической задачи прессования полосы в изотермических условиях в диапазоне температур сверхпластичности. При найденном виде разрешающей функции определены поля скоростей перемещений и деформаций, компоненты напряжений и вычислено усилие прессования. Установлены энергосиловые и кинематические характеристики, отвечающие изготовлению полуфабриката с качественными структурными показателями.

Введение

Современный уровень теоретических и экспериментальных исследований позволяет рассматривать сверхпластичность как особое состояние поликристаллического материала, пластически деформируемого при пониженном напряжении с сохранением в продеформированном металле мелкой исходной структуры (структурная сверхпластичность) или с её формированием в процессе нагрева и деформации (динамическая сверхпластичность).

Задача математического моделирования технологических операций горячего объемного формоизменения связана, а первую очередь, с установлением полей температур, напряжений и скоростей деформаций. При этом немаловажным считается обоснование и создание условий, обеспечивающих возможность формообразования при сравнительно невысоких деформирующих условиях. Такие условия реализуются при использовании эффекта сверхпластичности, особенности проявления которого для промышленных алюминиевых сплавов изложены в [1, 2]. Здесь показано, что путем оптимального сочетания силовых, кинематических и термических параметров можно прогнозировать изготовление полуфабрикатов со структурой, близкой к мелкозернистой.

В связи со сказанным рассмотрим задачу установления энергосиловых и кинематических характеристик процесса прямого горячего прессования алюминиевой полосы прямоугольного сечения в изотермических условиях при температуре, принадлежащей диапазону реализации эффекта сверхпластичности.

1. Постановка задачи

Прессованием полосы называется технологический процесс, в котором заготовка в форме призмы выдавливается из контейнера через

матрицу с уменьшением поперечных размеров заготовки. Отношение площади поперечного сечения заготовки A_0 к площади поперечного сечения изделия на выходе из матрицы A_k называется вытяжкой и определяется отношением

$$\lambda = \frac{A_0}{A_k}. \quad (1.1)$$

В основу постановки задачи положено исследование течения металла в клиновидном сходящемся канале в предположении радиальности указанного течения [3,4].

Примем, как в [3,4], цилиндрическую систему координат ρ, α, z , причем начало координат разместим в вершине клина, а ось z направим перпендикулярно плоскости течения металла (рис. 1).

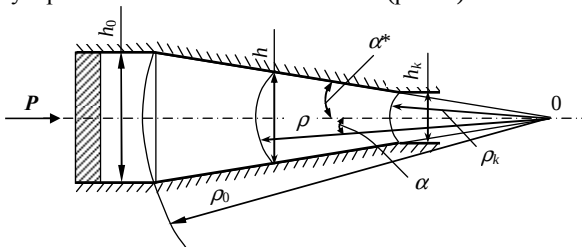


Рис. 1 – Схема процесса прессования

Математическая формулировка задачи включает:

– уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\alpha}{\rho} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{2\tau_{\rho\alpha}}{\rho} = 0, \quad (1.2)$$

где компоненты тензора напряжений σ_{ij} предполагаются поделенными на напряжение σ^* , являющимся внутренним параметром состояния и зависящим от температуры [2];

– геометрические соотношения

$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho}; \quad \dot{\epsilon}_\alpha = \frac{v_\rho}{\rho}; \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_\rho}{\partial \alpha}, \quad (1.3)$$

причем составляющие тензора скоростей деформаций $\dot{\epsilon}_{ij}$ поделены на величину $\dot{\epsilon}^*$, которая также является внутренним параметром состояния, альтернативным σ^* [2]; скорость радиального перемещения v_ρ также принята безразмерной, отнесенной к скорости $\dot{\epsilon}^*$ и ширине полосы; понятно, что координаты ρ и z также поделены на ширину полосы, которая принята постоянной;

– условие несжимаемости в скоростях

$$\dot{\epsilon}_\rho + \dot{\epsilon}_\alpha = 0; \quad (1.4)$$

– определяющие уравнения, принятые в форме соотношений теории упругопластических процессов малой кривизны [5],

$$\sigma_p - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_p; \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_\alpha; \quad \tau_{p\alpha} = \frac{\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\gamma}_{p\alpha}, \quad (1.5)$$

где σ_0 – среднее напряжение, а интенсивности напряжений σ_u и скоростей деформаций $\dot{\epsilon}_u$ определяются формулами [2]

$$\sigma_u = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{(\sigma_p - \sigma_\alpha)^2 + 4\tau_{p\alpha}^2}; \quad \dot{\epsilon}_u = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{4\dot{\epsilon}_p^2 + \dot{\gamma}_{p\alpha}^2}. \quad (1.6)$$

Уравнение состояния принято в форме [1, 2]

$$\sigma_u = 1 + m_0(\dot{\epsilon}_u - 1)^3 + \beta(\dot{\epsilon}_u - 1), \quad (1.7)$$

где $m_0 \sim \text{const}$, а величине $\beta = \beta(\xi)$ принадлежит роль управляющего параметра, причем ξ – приведенная температура (при сверхпластичности $\beta < 0$, $\xi \in]0, 1[$).

Граничные условия будем формулировать в процессе решения задачи.

2. К определению разрешающей функции

Подстановка зависимостей (1.3) в условие несжимаемости (1.4) приводит к дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial v_p}{\partial \rho} + \frac{v_p}{\rho} = 0. \quad (2.1)$$

Решение уравнения (2.1) имеет вид

$$v_p = -\frac{K(\alpha)}{\rho}, \quad (2.2)$$

где $K = K(\alpha)$ – произвольная функция, подлежащая определению.

С учетом (2.2) для компонент скоростей деформаций получаем

$$\dot{\epsilon}_p = \frac{K(\alpha)}{\rho^2}; \quad \dot{\epsilon}_\alpha = -\frac{K(\alpha)}{\rho^2}; \quad \dot{\gamma}_{p\alpha} = -\frac{K'(\alpha)}{\rho^2}. \quad (2.3)$$

Подставив (2.3) в выражение для интенсивности скоростей деформации (1.6), будем иметь

$$\dot{\epsilon}_u = L^{1/2}(\alpha) \cdot \rho^{-2}, \quad (2.4)$$

где обозначено

$$L(\alpha) = \frac{1}{3} (4K^2(\alpha) + K'^2(\alpha)). \quad (2.5)$$

Воспользовавшись (2.4), уравнение состояния (1.7) можно переписать так

$$\frac{\sigma_u}{\dot{\epsilon}_u} = F(\rho, \alpha) = (1 - m_0 - \beta) \rho^2 L^{-\frac{1}{2}}(\alpha) + 3m_0 + \beta - 3m_0 L^{\frac{1}{2}}(\alpha) \rho^{-2} + m_0 L(\alpha) \rho^{-4}. \quad (2.6)$$

Определяющие соотношения (1.5), принимая во внимание (2.6), запишутся следующим образом

$$\sigma_p = \sigma_0 + \frac{2}{3} F(\rho, \alpha) \frac{K(\alpha)}{\rho^2}; \quad \sigma_\alpha = \sigma_0 - \frac{2}{3} F(\rho, \alpha) \frac{K(\alpha)}{\rho^2}; \quad \tau_{p\alpha} = -\frac{1}{3} F(\rho, \alpha) \frac{K'(\alpha)}{\rho^2}. \quad (2.7)$$

Теперь становится очевидным, что поля напряжений, скоростей деформаций и перемещений могут быть определены, если установлено явное выражение функции $K = K(\alpha)$, которую назовем разрешающей. Для нахождения вида указанной функции воспользуемся следующим приемом. Подставим соотношения (2.7) в дифференциальные уравнения равновесия (1.2). Найденные при этом производные $\frac{\partial \sigma_0}{\partial \rho}, \frac{\partial \sigma_0}{\partial \alpha}$

продифференцируем соответственно по α и ρ , и приравняем друг другу. Полученная при этом система дифференциальных уравнений будет тождественно удовлетворяться при условии:

$$K''' + 4K' = 0. \quad (2.8)$$

Интеграл уравнения (2.8) равен

$$K(\alpha) = -\frac{C_1}{2} \cos 2\alpha + \frac{C_2}{2} \sin 2\alpha + C_3, \quad (2.9)$$

где C_1, C_2, C_3 – постоянные интегрирования, подлежащие определению из граничных условий.

На рассматриваемом этапе решения могут быть сформулированы следующие два граничных условия

$$\tau_{\rho\alpha}|_{\alpha=0} = 0; S = -\chi \tau_{\max}|_{\alpha=\alpha^*} \quad (2.10)$$

Здесь S – интенсивность сил трения (касательное напряжение) на контакте матрицы и деформируемого материала, $\tau_{\max}$ – максимальное касательное напряжение, χ – коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально [6], α^* – угол наклона матрицы (рис. 1).

Воспользовавшись граничными условиями (2.10), для функции $K(\alpha)$ получим

$$K(\alpha) = \frac{C_1}{2} (\psi - \sin 2\alpha), \quad (2.11)$$

$$\text{где} \quad \psi(\alpha^*, \chi) = \cos 2\alpha^* + \frac{\sqrt{1-\chi^2}}{\chi} \sin 2\alpha^*. \quad (2.12)$$

Таким образом, найдено явное выражение разрешающей функции, в которое входит не установленная еще постоянная C_1 . Для ее определения необходимо исследовать поле скоростей перемещений.

3. Скорости перемещений и деформаций

Рассмотрение кинематики течения связано с выбором очага деформации, который ограничен [3] поверхностью клина и двумя поверхностями разрыва скоростей $\rho_0 = \rho_0(\alpha)$, $\rho_k = \rho_k(\alpha)$ (рис. 1). На рис. 2. изображены направления векторов скоростей перемещений при входе в очаг пластической деформации – средней v_0 и радиальной v_ρ , заимствованные в [3, 4].

$$v_p = \frac{v_0 h_0}{2\psi \rho} (\sin 2\alpha - \psi), \quad (3.7)$$

– функции $\rho_0 = \rho_0(\alpha)$, $\rho_k = \rho_k(\alpha)$, ограничивающие в радиальном направлении очаг пластической деформации,

$$\rho_0(\alpha) = h_0 \frac{\sin^2 \alpha - 4\alpha}{2\psi \sin \alpha}; \quad \rho_k = h_0 \frac{\sin^2 \alpha - \psi \alpha}{2\psi \lambda \sin \alpha}; \quad (3.8)$$

– скорости деформаций

$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{v_0}{2\psi \rho^2} (\psi - \sin 2\alpha); \quad \dot{\epsilon}_\alpha = -\frac{v_0}{2\psi \rho^2} (\psi - \sin 2\alpha); \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = -\frac{v_0}{\psi \rho^2} \cos 2\alpha. \quad (3.9)$$

Здесь для $\psi(\alpha^*, x)$, $\bar{\psi}(\alpha, x)$ получены соответственно формулы (2.12), (3.6).

4. Определение компонентов напряжений

Для составляющих напряжений приведем формулы в виде, удобном для дальнейшего использования. При этом учтено граничное условие в форме

$$\sigma_\rho|_{\rho=\rho_k} = 0. \quad (4.1)$$

С использованием указанного условия, обозначив $\Phi(\alpha) = K'' - 4K$, зависимости для напряжений в окончательной редакции могут быть представлены следующими выражениями:

$$\begin{aligned} 3\sigma_\rho = & (1 - m_0 - \beta)L^{-1/2} \left(\frac{L'K'}{2L} - K'' + 4K \right) \ln \frac{\rho}{\rho_k} - 4(1 - m_0 - \beta)L^{-1/2}K - \\ & - \frac{3m_0 + \beta}{2} \Phi \left(\frac{1}{\rho_k^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) (K'' - 4K) - 4(3m_0 + \beta) \frac{K}{\rho_k^2} + \frac{3}{4} m_0 L^{1/2} \left(\frac{L'K'}{2L} + K'' - 4K \right) \times \\ & \times \left(\frac{1}{\rho_k^4} - \frac{1}{\rho^4} \right) + 12m_0 L^{1/2} \frac{K}{\rho_k^4} - \frac{m_0}{6} L \left(\frac{L'K'}{L} + K'' - 4K \right) \left(\frac{1}{\rho_k^6} - \frac{1}{\rho^6} \right) - 4m_0 L \frac{K}{\rho_k^6}; \\ 3\sigma_\alpha = & (1 - m_0 - \beta)L^{-1/2} \left(\frac{L'K'}{2L} - K'' + 4K \right) \ln \frac{\rho}{\rho_k} - \frac{3m_0 + \beta}{2} (K'' + 4K) \times \\ & \times \left(\frac{1}{\rho_k^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) + \frac{3}{4} m_0 L^{1/2} \left(\frac{L'K'}{2L} + K'' + 12K \right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_k^4} - \frac{1}{\rho^4} \right) - \\ & - \frac{m_0}{6} L \left(\frac{L'K'}{L} + K'' + 8K \right) \left(\frac{1}{\rho_k^6} - \frac{1}{\rho^6} \right); \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$3\tau_{\rho\alpha} = \left[(1 - m_0 - \beta)L^{-1/2} + \frac{3m_0 + \beta}{\rho^2} - \frac{3m_0}{\rho^4} L^{1/2} + \frac{m_0}{\rho^6} L \right] K'.$$

Обратимся к не задействованному еще граничному условию, в соответствие которому деформирующее усилие на выходе из матрицы отсутствует. Имеем:

$$\int_0^{\alpha^*} \sigma_p \Big|_{p=\rho_k} \rho_k d\alpha = 0. \quad (4.3)$$

После подстановки в (4.3) первой формулы (4.2) приходим к интегралу:

$$\int_0^{\alpha^*} K(\alpha) \left[(1-m_0-\beta)L^{-\frac{1}{2}}(\alpha)\rho_k + (3m_0+\beta)\rho_k^{-1} - 3m_0L^{\frac{1}{2}}(\alpha)\rho_k^{-3} + m_0L(\alpha)\rho_k^{-5} \right] d\alpha = 0. \quad (4.4)$$

Вычислив (4.4) и введя обозначение

$$\mu = \nu_0 \lambda^2 \bar{\psi} / h_0, \quad (4.5)$$

получим следующее кубическое уравнение относительно μ

$$a_1(\alpha^*)\mu^3 + a_2(\alpha^*)\mu^2 + a_3(\alpha^*)\mu + a_4(\alpha^*) = 0. \quad (4.6)$$

Здесь коэффициенты $a_i(\alpha^*)$ равны

$$\begin{aligned} a_1(\alpha^*) &= \frac{\sqrt{3}}{4} (1-m_0-\beta) \int_0^{\alpha^*} H_1(\alpha) H_2(\alpha) H^{-1/2}(\alpha) d\alpha; \\ a_2(\alpha^*) &= (3m_0+\beta) \int_0^{\alpha^*} H_1(\alpha) H_2^{-1}(\alpha) d\alpha; \\ a_3(\alpha^*) &= -4\sqrt{3}m_0 \int_0^{\alpha^*} H_1(\alpha) H_2^{-3}(\alpha) H^{-1/2}(\alpha) d\alpha; \\ a_4(\alpha^*) &= \frac{16}{3} m_0 \int_0^{\alpha^*} H_1(\alpha) H_2^{-5}(\alpha) H(\alpha) d\alpha, \end{aligned} \quad (4.7)$$

причем $H(\alpha) = 1 - 2\psi \sin 2\alpha + \psi^2$; $H_1(\alpha) = \psi - \sin 2\alpha$;

$$H_2(\alpha) = \frac{\sin^2 2\alpha - \psi\alpha}{\sin \alpha}. \quad (4.8)$$

5. Определение деформирующего усилия

Зная величину и распределение напряжений на поверхности, ограничивающей вход в очаг деформации, можно определить усилие прессования, приходящееся на единицу ширины полосы:

$$P = 2 \int_0^{\alpha^*} \sigma_p \Big|_{p=\rho_0} \rho_0 d\alpha. \quad (5.1)$$

После подстановки в интеграл (5.1) выражения для σ_p (4.2) при $p = \rho_0$ получим

$$P = \frac{2h_0}{\bar{\psi}\lambda^2} \left[Q_0(\alpha^*) + Q_1(\alpha^*)\mu(\alpha^*) + Q_2(\alpha^*)\mu^2(\alpha^*) + Q_3(\alpha^*)\mu^3(\alpha^*) \right], \quad (5.2)$$

где $\mu(\alpha^*)$ является решением уравнения (4.6), причем $\lambda = \rho_0 / \rho_k$, а коэффициенты, входящие в выражение (5.2), равны

$$Q_0(\alpha^*) = \sqrt{3}(1-m_0-\beta) \left\{ \int_0^{\alpha^*} \psi H^{-3/2}(\alpha) H_2(\alpha) H_3(\alpha) \cos^2 2\alpha d\alpha - \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \int_0^{\alpha^*} H^{-1/2}(\alpha) H_2(\alpha) H_3(\alpha) d\alpha \left[\ln \alpha + \int_0^{\alpha^*} H^{-1/2}(\alpha) H_1(\alpha) H_2(\alpha) d\alpha \right] \Bigg\}; \\
Q_1(\alpha^*) &= -2(3m_0 + \beta) \left[(\lambda^2 - 1) \int_0^{\alpha^*} H_1^{-1}(\alpha) H_3(\alpha) d\alpha + 2\lambda^2 \int_0^{\alpha^*} H_1(\alpha) H_2^{-1}(\alpha) d\alpha \right]; \\
Q_2(\alpha^*) &= 4\sqrt{3}m_0 \left\{ (\lambda^4 - 1) \left[\int_0^{\alpha^*} \psi H^{-1/2}(\alpha) H_2^{-3}(\alpha) \cos^2 2\alpha d\alpha + \right. \right. \\
& \left. \left. + \int_0^{\alpha^*} H^{1/2}(\alpha) H_2^{-3}(\alpha) H_3(\alpha) d\alpha \right] + 4\lambda^4 \int_0^{\alpha^*} H^{1/2}(\alpha) H_1(\alpha) H_2^{-3}(\alpha) d\alpha \right\}; \quad (5.3) \\
Q_3(\alpha^*) &= -\frac{32}{9} m_0 \left\{ (\lambda^6 - 1) \left[\int_0^{\alpha^*} \psi H_2^{-5}(\alpha) \cos^2 2\alpha d\alpha + \right. \right. \\
& \left. \left. + \int_0^{\alpha^*} \psi H^{-1/2}(\alpha) H_2^{-3}(\alpha) \cos^2 2\alpha d\alpha \right] + 2\lambda^6 \int_0^{\alpha^*} H(\alpha) H_1(\alpha) H_2^{-5}(\alpha) d\alpha \right\},
\end{aligned}$$

причем $H_3(\alpha) = 2\sin 2\alpha - \psi$, а $H(\alpha)$, $H_1(\alpha)$, $H_2(\alpha)$ определены выше (4.8).

Для вычисления интегралов (4.7), (5.3) разработана соответствующая процедура.

6. Об оптимизации процесса прессования полосы с использованием сверхпластичности

Трудности, встречаемые при математической формулировке и решении технологических задач объемного формоизменения, в том числе в термомеханических режимах сверхпластичности, обсуждены в [2]. Поэтому целесообразной представляется возможность выработки технологической стратегии [5] с обеспечением оптимальности некоторых критериев. Нельзя не согласиться с мнением [7], утверждающим, что из множества общепризнанных критериев выбирается лишь один из них или априорно задается путь их приведения к единственному критерию.

Использование сверхпластичности способствует выработке нетрадиционных критериев оптимизации. Так, на изменение силовых, термических и кинематических параметров процесса очага деформации откликается изменением объема и расположения области сверхпластичности, которая составляет часть очага деформации. Следовательно, при таком подходе оптимизационная задача разбивается на две части. В первой из них определению подлежат условия, при которых объем зоны сверхпластичности будет максимальным. Вторая сторона задачи состоит в обеспечении требуемого расположения указанной зоны в очаге деформации в зависимости от конечной цели процесса.

Считаем температуру процесса постоянной и не выходящей за термический диапазон сверхпластичности. Исключив, таким образом,

температуру, обратим внимание на анализ поля скоростей деформаций, внешней характеристикой которого может служить средняя скорость прессования v_0 .

В качестве целевой функции выбираем объем зоны сверхпластичности ($W^{СП}$) в очаге деформации. Принимаем, что указанный объем при оптимальном сочетании силовых, термических и кинематических условий достигает максимума

$$W^{СП} = \iiint_{(W)} dW \rightarrow \max. \quad (6.1)$$

В цилиндрических координатах вместо (6.1) можем записать:

$$2 \int_0^{\alpha^*} \rho^2 d\alpha \rightarrow \max. \quad (6.2)$$

К условию (6.2) добавим ограничения на сверхпластическую область по скоростям деформаций, которые следуя [1, 2], имеют вид:

$$1 - \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2} \leq \dot{\epsilon}_u \leq 1 + \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2}, \quad (6.3)$$

причем, как и выше, m_0 – постоянная материала, β – управляющий параметр (при сверхпластичности $\beta < 0$), $\dot{\epsilon}_u$ – интенсивность скоростей деформаций (2.4), (2.5).

Неравенство (6.3), используя (2.4) и (2.5), можно свести к следующему:

$$\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2, \quad (6.4)$$

где положено

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \left\{ \left[1 - \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2} \right]^{-1} \left(\frac{4K^2 + K'^2}{3} \right)^{1/2} \right\}^{1/2}; \\ \rho_2 &= \left\{ \left[1 + \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2} \right]^{-1} \left(\frac{4K^2 + K'^2}{3} \right)^{1/2} \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (6.5)$$

Здесь через ρ_1 , ρ_2 обозначены соответственно верхнее и нижнее значения радиуса ρ , ограничивающие область сверхпластичности.

Произвольная величина $\rho \in]\rho_1, \rho_2[$ может быть определена так:

$$\rho = \frac{1}{\Pi} \left(\frac{4K^2 + K'^2}{3} \right)^{1/4}, \quad (6.6)$$

Где
$$\Pi \in \left[\left(1 - (-\beta/3m_0)^{1/2} \right); \left(1 + (-\beta/3m_0)^{1/2} \right) \right].$$

Теперь можно утверждать, что получена задача вариационного исчисления, для решения которой в соответствии с (6.2) и (6.6) необходимо построить функционал:

$$\Phi = \int_0^{\alpha^*} (4K^2 + K'^2)^{1/2} d\alpha. \quad (6.7)$$

Случай (6.7) относится к разряду, когда подынтегральная функция зависит только от $K(\alpha)$, $K'(\alpha)$, т.е.

$$J = J(K, K') = (4K^2 + K'^2)^{1/2}. \quad (6.8)$$

При этом первый интеграл уравнения Эйлера вычисляется сразу и имеет вид:

$$J - K'J_{K'} = C, \quad (6.9)$$

где C – произвольная постоянная интегрирования.

Теперь уравнение (6.9) с учетом (6.8) приводится к дифференциальному уравнению с разделенными переменными:

$$K' = \frac{2K}{C} (4K^2 - C^2)^{1/2}. \quad (6.10)$$

Интеграл уравнения (6.10) с учетом краевого условия $K'(0) = 0$ будет равен:

$$K(\alpha) = \frac{C}{2} \cos^{-1} 2\alpha. \quad (6.11)$$

Из (6.11) следует ограничение на величину угла $\alpha = \alpha^*$, образующего в окружном направлении границу области сверхпластичности,

$$\alpha^* \leq \frac{\pi}{4}. \quad (6.12)$$

Таким образом, объем зоны сверхпластичности будет максимальным, если имеют место условия (6.4), (6.12).

Перейдем теперь ко второй части оптимизационной проблемы, связанной с отысканием рационального расположения сверхпластической области. При этом будем предполагать, что конечной целью процесса прессования является получение высококачественной полосы с мелкозернистой структурой. Поэтому сверхпластическую зону будем стремиться поместить так, чтобы исключить на выходе из матрицы скоростные условия за рамками диапазона сверхпластичности. Поверхность разрыва скоростей перемещений здесь определяется вторым уравнением (3.8), которое перепишем в форме:

$$\rho_k^2 = \frac{h_0 H_2^2(\alpha)}{4\lambda^2 \bar{\psi}^2}, \quad (6.13)$$

где $H_2(\alpha)$ определяется третьей формулой (4.8).

Уравнение, ограничивающее область сверхпластичности по верхнему скоростному пределу (на выходе из матрицы), в соответствии (6.5), (3.5) будет иметь вид:

$$\rho_2^2 = \frac{v_0 h_0 H^{1/2}(\alpha)}{\Psi \left[1 + \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2} \right]}, \quad (6.14)$$

причем для $H(\alpha)$ записано первое выражение (4.8).

Условие пересечения поверхностей (6.13), (6.14) представляется равенством:

$$4\mu H^{1/2}(\alpha) = H_2^2(\alpha) \left[1 + \left(-\frac{\beta}{3m_0} \right)^{1/2} \right], \quad (6.15)$$

где для μ получено (4.5).

Несложно показать, что функция (6.15) положительно определена, по крайней мере, при условии (6.12). Последнее означает, что в пределах (6.12) пересечение поверхностей, ограничивающих очаг деформации $\rho_k = \rho_k(\alpha)$ и область сверхпластичности по верхнему пределу скоростей деформаций ($\rho_2 = \rho_2(\alpha)$), отсутствует.

Более того, можно утверждать, что $\rho_k < \rho_2$.

Теперь очевидно, что оптимальным следует признать взаимное расположение поверхностей $\rho_k(\alpha)$ и $\rho_n(\alpha)$ таким, чтобы обеспечить (рис. 1) выполнение условия

$$\rho_k(\alpha^*) = \rho_2(\alpha^*). \quad (6.16)$$

Равенство (6.16) по существу есть требование касания поверхностей $\rho_k = \rho_k(\alpha)$ и $\rho_2 = \rho_2(\alpha)$. Поэтому, положив в (6.15) $\alpha = \alpha^*$, с учетом формул (4.7), (6.13), (6.14), получим оптимальное значение скоростного параметра $\mu = \mu_{opt}$. Имеем:

$$\mu_{opt} = \frac{H_2^2(\alpha^*) \left[1 + \left(-\beta/3m_0 \right)^{1/2} \right]}{4H^{1/2}(\alpha^*)}. \quad (6.17)$$

Здесь $H(\alpha^*)$, $H_2(\alpha^*)$ определяются зависимостями (4.8) при $\alpha = \alpha^*$.

Заключение

На рис. 3 представлены в виде графиков зависимости $\mu \sim \alpha^*$, построенные на основании решения (6.17) оптимизационной задачи (кривая 1) и для случая (4.5)... (4.7), когда только температура принадлежит диапазону сверхпластичности (кривая 2). Как видно из представленных графиков, скорость прессования при удовлетворении, кроме температурных, еще и скоростных условий сверхпластичности, для изготовления полюсы с мелким зерном значительно снижается (примерно в 2,5 ... 3,0 раза).

На рис. 4 показаны графики зависимостей усилия прессования (5.2) от угла α^* . Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 4, показывает, что усилия прессования с введением оптимально расположенной области сверхпластичности снижаются сравнительно с

полученными значениями из решения краевой задачи. Увеличение λ , при прочих равных условиях означающее удлинение конической части матрицы, приводит к значительному возрастанию усилия прессования. Так, усилия при $\lambda = 1,5$ возрастают примерно на порядок для более длинных матриц. При сверхпластичности усилие снижается в 3...4 раза.

Укажем, что конкретные расчеты проводились для параметров, соответствующих сплаву АМг5 [1]. Качественно решение не изменится и для других сплавов, проявивших сверхпластические свойства при сжатии.

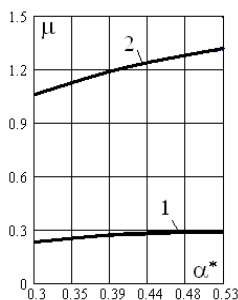


Рис. 3 – Зависимость оптимальной скорости прессования от угла α^* при $\lambda = 1,5$; $\chi = 0,3$, $\beta = -0,134$; кривая 2 соответствует скоростям прессования без оптимизации.

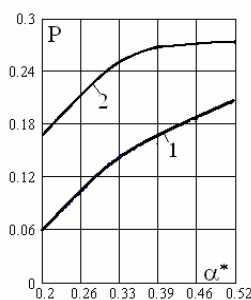


Рис. 4 – Зависимость усилия прессования от угла α^* при $\lambda = 1,5$; $\chi = 0,3$; $\beta = -0,134$; кривая 2 соответствует усилиям прессования без оптимизации.

Таким образом, показано, что удовлетворение только температурных условий реализации сверхпластичности без учета скоростного фактора не может отвечать принятой цели изготовления конечного продукта с качественной ультрамелкозернистой структурой.

Список литературы

1. Рудаев Я.И. Введение в механику динамической сверхпластичности. – Бишкек: КРСУ, 2003. – 134 с.
2. Рудской А.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов/ А.И. Рудской, Я.И. Рудаев.– СПб., 2009. – 217 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М., 1975. – 400 с
4. Соколовский В.В. Теория пластичности. – М., 1969. – 608 с.
5. Кийко И.А. Пластическое течение металлов // Научные основы прогрессивной техники и технологии. – М., 1985. – С.102-103.
6. Малинин Н.Н. Технологические задачи пластичности и ползучести. – М., 1979. – 119 с.
7. Аксенов Л.Б. Системное проектирование процессов штамповки. – Л.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

PRESSING PROCESS MODELLING RECTANGULAR STRIP IN THE MODES SUPERPLASTICITY

Rudaev Ya.I., Sulaymanova S.M.

Keywords: superplastic, pressure, optimization problem, volume form change.

Abstract. The analytical decision of a technological problem of pressure of a strip in isothermal conditions in a range of temperatures superplasticity is considered. Depending on the found kind of resolving function fields of strain rates and deformations are certain, components of the stresses and the power pressure is calculated. The energy-power and the kinematic characteristics adequating to manufacturing of a semifinished product with qualitative structural indicators are established.

References

1. Rudaev Ya.I. Introduction to mechanics of dynamic superplasticity. – Bishkek: KRSU, 2003. – 134 p.
2. Rudskoy A.I. Mechanics of dynamic superplasticity of aluminum alloys / A.I. Rudskoy, Ya.I. Rudaev. – SPb., 2009. – 217 p.
3. Malinin N.N. Applied theory of plasticity and creep. – M., 1975. – 400 p.
4. Sokolovsky V.V. The theory of plasticity. – M., 1969. – 608 p.
5. Kiyko I.A. Plastic current of metals //Scientific bases of progressive equipment and technology. – M., 1985. – pp 102-103.
6. Malinin N.N. Technological problems of plasticity and creep. – M., 1979. – 119 p.
7. Aksenov L.B. System design of processes of stamping. – L.: Mechanical engineering, 1990. – 240 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные исследования в области машиностроения

Кузнецова В.Н. Анализ результатов оптимизации параметров рабочих органов землеройных машин для разработки мерзлых грунтов.....	9
Рагрин Н.А. Особенности планирования эксперимента в исследованиях стойкости режущих инструментов	12
Левченко Э.П., Вишнеvский Д.А., Власенко Д.А., Мороз В.В., Павлиненко О.И. Особенности математического моделирования механических процессов металлургических машин	14
Куаныш Турусбеков, Ермек Абильмажинов, Тилеугали Еркинғали, Болат Манежанов. Анализ процесса резания грунта для энергоёмкости обработки почвы	17
Копорушкин П.А. Алгоритмы расчета параметрических моделей и их применение в кинематическом анализе	20
Копорушкин П.А. Применение DM-декомпозиции при расчете параметрических моделей объектов.....	24
Переверзев П.П., Акинцева А.В., Власов И.С. Оптимизация циклов внутреннего шлифования методом динамического программирования в трехмерном пространстве технологических ограничений и нескольких управляющих параметров.....	27
Волкова С.Л., Воробьева И.В., Копорушкин П.А. Импортозамещение в сфере САПР.....	30

Наука и образование в области машиностроения

Егодуров Г.С., Дамбаев Ж.Г., Цынгеев Д.Ц. САПР Mathcad при расчетах и исследованиях элементов конструкций.....	34
---	----

Теория механизмов и машин

Степанов А.В. Анализ методов расчета состава кинематических цепей и их реализация.....	43
Попугаев М.Г. Уточнение к структурному синтезу трехзвенных кинематических соединений.....	55
Шевченко С.В., Муховатый А.А., Кроль О.С. Разбивка передаточного числа двухступенчатого червячного редуктора по ступеням.....	60
Джаманкулов А.К. Параметры работы авторегулятора тормозных систем при размотке эксцентричной модели сновальной паковки	65

Джаманкулов А.К. Параметры работы авторегулятора тормозных систем при размотке идеальной модели сновальной паковки	70
Гребенкин В.З., Золотарев Ю.В. Сравнительный анализ выделения частиц изнашивания элементов кинематических пар в волновых передачах механизмов микро-электронного производства.....	74
Крашмалев О.Н., Петрешин Д.И., Федонин О.Н. Метод коррекции интегральных отклонений промышленных роботов	78

Современная методология проектирования машин и механизмов

Низовских А.С., Копорушкин П.А., Тарасенко Р.Р. Проблемы параметрического подхода в некоторых современных САПР	83
Букина С.В. Проектирование кромкообразующего механизма ткацкого станка с рациональными конструктивными параметрами ...	86
Лебедев Д.А., Шуваев Д.А. Концептуальная модель волокноочистителя	91

Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Жуков И.А. Систематизация технических решений геометрии бойков горных машин ударного действия	96
Егодуров Г.С., Бочектуева Е.Б., Балданов А.Б. Моделирование движения гусеничной машины при случайном кинематическом воздействии	107
Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Рассеяние энергии колебаний в текстильных паковках.....	114
Еремьянц В.Э., Нью В.В. Напряженное состояние двухслойной пластины при продольном ударе по стержню, опирающемуся на пластину	123
Еремьянц В.Э., Колесников Н.А. Влияние жесткости опоры коромысла на динамические реакции в коромысловой ударной системе.....	127
Дорошев Ю.С., Николайчук А.Н., Николайчук Д.Н. Повышение надежности и ресурса подшипников электрических машин карьерных экскаваторов	133
Круцило В.Г. Восстановление лопаток гтд термопластическим упрочнением.....	138

Механика деформируемого твердого тела

Рудаев Я.И., Сулайманова С.М. Моделирование процесса прессования прямоугольной полосы в режимах сверхпластичности..	143
---	-----

Бидихметова А.Ж., Карибаева Ж.К., Турусбеков К.С., Жайлаубаева Ш.Д. Оценка деформаций системы в процессе механической обработки резанием	156
Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю. Теоретическое изучение мартенситной неупругости сплавов с памятью формы при изотермических траекториях деформирования по спирали Архимеда.....	160

Инновационные техника и технологии в машиностроении

Анисимов В.В. От Фредерика Тейлора до системы “бережливое производство”	168
Масягин В.Б., Мухолзоев А.В. Особенности применения понятия кромки при размерном анализе	172
Арефинкина С.Е., Денисов Р.А., Морозов А.А., Сурин В.И. Связь деформационной активности поверхности с электрическими свойствами материалов	177
Айман Абу Газал, Денисов Р.А., Лисенков А.В., Сурин В.И. Метод оценки контактных механических напряжений в зубчатом механизме	184
Аристова Е.Н., Пономарев С.Г., Стойнов М.И. Перспективные углеродные материалы для отражателей исследовательских ядерных реакторов.....	188
Папшева Н.Д. Применение ультразвука для повышения надежности деталей машин и инструментов.....	194
Гурулёва М.А. Управление рабочими органами плужного снегоочистителя с использованием радиолокационно-доплеровского канала обзора прилегающего пространства	197

Scientific periodical issue

Modern problems of theory of machines

Issue 4(1)

Typesetting and correction: Zhukov I.A.



Publication Date 01.03.16г.

Title ID №6105275.

North Charleston, USA: CreateSpace, 2016

Научное периодическое издание

Современные проблемы теории машин

№4(1)

Верстка и корректура: Жуков И.А.



Подписано в печать 01.03.16г.

Заказ №6105275.

Норт-Чарлстон, США: CreateSpace, 2016