



ISSN 2076-2151

О

М

Д

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



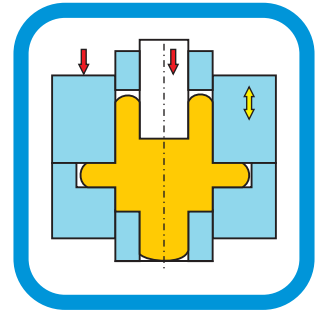
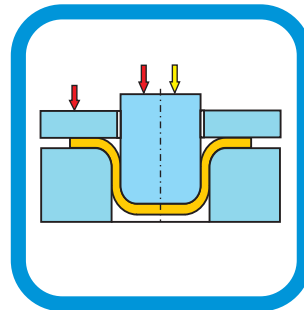
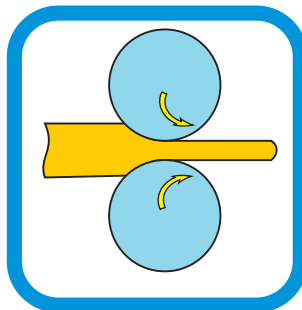
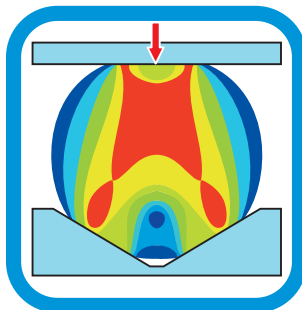
ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ



MATERIALS WORKING BY PRESSURE



UMFORMTECHNIK



№2 (27)



2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ
И СПОРТА УКРАИНЫ

ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

**ОБРАБОТКА
МАТЕРИАЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

№ 2 (27) – 2011

Краматорск

УДК 621.7

**ОБРАБОТКА
МАТЕРИАЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ**

**Сборник научных трудов
№ 2 (27) – 2011**

Основатель
Донбасская государственная
машиностроительная академия
Свидетельство
про государственную регистрацию
серия КВ № 13770-2744Р
от 17.03.2008

**ОБРОБКА
МАТЕРІАЛІВ
ТИСКОМ**

**Збірник наукових праць
№ 2 (27) – 2011**

Засновник
Донбаська державна
машинобудівна академія
Свідоцтво
про державну реєстрацію
серія КВ № 13770-2744Р
від 17.03.2008

**MATERIALS
WORKING BY
PRESSURE**

**Collection of science papers
№ 2 (27) – 2011**

Founder
Donbass State
Engineering Academy
Registration certificate
№ 13770-2744Р
dated 17.03.2008

Сборник «ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ» включен в Перечень научных специализированных изданий ВАК Украины по техническим наукам для опубликования результатов диссертационных работ (постановление № 1–05/2 от 27.05.09 г., бюллетень ВАК Украины № 8, 2009).

Рекомендовано к печати ученым советом Донбасской государственной машиностроительной академии (протокол № 10 от 30.06.2011).

В сборнике размещены статьи различных направлений процессов и машин обработки материалов давлением, подготовленные профессорско-преподавательским составом, научными сотрудниками, аспирантами, соискателями, специалистами. Сборник предназначен для научных и инженерных работников, аспирантов и студентов.

У збірнику розміщено статті різних напрямків процесів і машин обробки матеріалів тиском, підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковими співробітниками, аспірантами, здобувачами, фахівцями. Збірник призначений для наукових й інженерних працівників, аспірантів і студентів.

Different articles of various directions of processes and machines of materials forming, prepared by the faculty, scientific employees, post-graduate students, competitors, experts are placed in this collection. The collection is intended for scientific and engineering workers, post-graduate students and students.

Редакционная коллегия: Алиев И. С., д-р техн. наук, проф. (председатель редакционной коллегии); Бейгельзимер Я. Е., д-р техн. наук, проф.; Добронос Ю. К., канд. техн. наук, доц., (ответственный секретарь); Гуменюк Ю. И., д-р техн. наук, проф. (Россия); Дья Х., д-р техн. наук, проф. (Польша); Заблоцкий В. К., д-р техн. наук, проф.; Кассов В. Д., д-р техн. наук, проф.; Лаптев А. М., д-р техн. наук, проф.; Миленин А. А., д-р техн. наук, проф. (Польша); Мороз Б. С., д-р техн. наук, проф. (Россия); Огородников В. А., д-р техн. наук, проф.; Роганов Л. Л., д-р техн. наук, проф.; Розенберг О. А., д-р техн. наук, проф.; Сатонин А. В., д-р техн. наук, проф.; Соколов Л. Н., д-р техн. наук, проф.; Сосенушкин Е. Н., д-р техн. наук, проф. (Россия); Тарасов А. Ф., д-р техн. наук, проф.; Титов В. А., д-р техн. наук, проф.; Федоринов В. А., канд. техн. наук, проф.; Шестаков Н. А., д-р техн. наук, проф. (Россия); Яковлев С. С., д-р техн. наук, проф. (Россия).

Ответственный за выпуск д-р техн. наук, проф. Алиев И. С.

Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 2 (27). – 232 с.

ISSN 2076-2151

Статьи прорецензированы членами редакционной коллегии.
Материалы номера печатаются на языке оригинала.

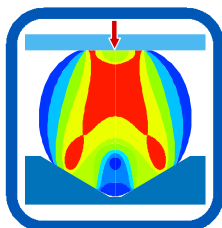
ISSN 2076-2151

© Донбасская государственная
машиностроительная академия, 2011
© Донбаська державна машинобудівна
академія, 2011
© Donbass State Engineering Academy, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ЗМІСТ

CONTENT

РАЗДЕЛ I
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Александров А. А.

О «золотой» пропорции и геометрии предельных решений некоторых задач обработки металлов давлением

3

Михалевич В. М., Краєвський В. О.

Определение оптимальных параметров многоступенчатой схемы изменения скорости деформаций

10

Бейгельзимер Я. Е., Прилепо Д. В., Капустин В. И.

Математическое моделирование процесса плоской винтовой экструзии

14

Кулагин Р. Ю., Бейгельзимер Я. Е., Латаев А. П.

Моделирование процесса винтовой экструзии

19

Периг А. В., Подлесный С. В., Голоденко Н. Н., Бойко И. И., Ситник А. А.

Численное моделирование вязкого течения материала при равноканальном угловом прессовании через штамп с параллельными скосами

23

Ткаченко Я. Ю., Лаптев А. М.

Моделирование распределения температуры при нагреве электрическим током образцов из ZrO_2 и ZrO_2-TiCN для последующего сверхпластического деформирования

30

Добронос Ю. К., Дмитриев С. А., Воротникова Е. А.

Математическое моделирование механизма образования внутренних дефектов при горячей прокатке сварных швов

34

Василев Я. Д., Коноводов Д. В., Завгородний М. И.

Определение среднего нормального напряжения при холодной прокатке тонких полос

38

Сатонин А. В., Стриченко С. М., Завгородний А. В., Житлова А. А.

Численная методика расчета энергосиловых параметров процесса горячей поперечной резки непрерывнолитых сортовых заготовок

43

Кассов В. Д., Малыгина С. В., Грибков Э. П., Данилюк В. А.

Математическая модель процесса прокатки порошковой ленты с учётом пластической деформации оболочки

47

Огинский И. К.

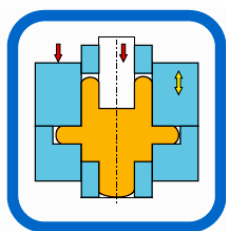
Модель объемных перемещений при прокатке в валках неравного диаметра 53

Федоринов В. А., Завгородний А. В., Стриченко С. М., Литвинова Е. Г.

Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния металла при правке непрерывнолитых заготовок 58

Федоринов В. А., Чуруканов А. С., Юрков К. Ю., Заковашевич Н. А.

Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла по кромкам относительно тонких лент при их холодной прокатке 62



РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Жбанков Я. Г.

Технология изготовления стержневых деталей типа эксцентров 66

Яворовский В. Н., Корнийченко П. А.

Микроструктурные исследования локальных деформаций при дорновании в условиях плоского деформированного состояния 72

Борисевич В. В., Закизаде Байгара М.

Оценка влияния различных факторов на получение кондиционных деталей объемной штамповкой 79

Скрябин С. А., Крищук Н. Г., Гунько И. В., Бубновская И. В.

Исследование тепловых процессов и термических деформаций при вальцовке круглых заготовок из алюминиевых сплавов в овальных калибрах 84

Рагулин В. А., Молодов А. В., Филиппов Ю. К., Гневашев Д. А., Крутина Е. В.

Исследование комбинированного процесса выдавливания полых полусферических деталей с фланцем 89

Воробьев К. Г., Кузьмина О. М., Фридрих Х. Э., Данченко В. Н.

Механические свойства сверхпластически деформированных листовых заготовок из легких сплавов, применяемых для транспортных средств 93

Левандовская И. В., Серeda В. Г.

Малоотходная штамповка листовых цилиндрических деталей из групповой заготовки 98

Спусканюк В. З., Гангало А. Н., Давиденко А. А.

Исследование эффективности применения смазочных веществ при угловом гидропрессовании 102

Гогаев К. А., Радченко А. К.

Алгоритм расчета характеристик металлических порошков применительно к их прессуемости

106

Корж В. В., Лантев А. М.

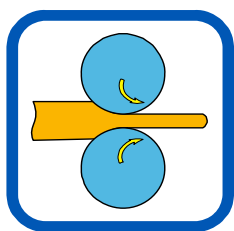
Экспериментальное исследование силового режима прессования хромистых порошковых сталей

111

Руденко Н. А.

Исследование пропускных способностей фильтрующих материалов, изготовленных с применением порообразователя

116



РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

Руденко Е. А., Курдюкова Л. А.

Методика расчета фабрикации для условий проектируемых и реконструируемых толстолистовых станов

120

Данько В. М., Данько А. В.

Применение кинематической асимметрии для непрерывной прокатки крупного сорта

126

Добронос Ю. К., Гуцин А. В., Кралин А. К.

Совершенствование технологических режимов поперечной прокатки осесимметричных сферических металлоизделий

130

Сатонин А. В., Куберский С. В., Стриченко С. М., Завгородний А. В.

Инженерная методика напряженно-деформированного состояния металла непрерывнолитых сортовых заготовок при их «мягком» обжатии

135

Сатонин А. В., Настоящая С. С., Коренко М. Г., Переходченко В. А.

Экспериментальное исследование контактных напряжений при прокатке относительно тонких полос

139

Шпак В. И., Шевченко В. В., Суков М. Г.

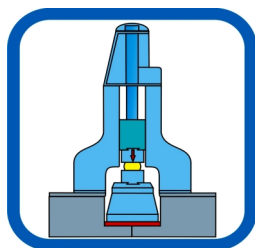
Исследование влияния процессов дрессировки на качество относительно тонких лент с покрытием

144

Микулёнок И. О.

Анализ эффективности процесса переработки пластмасс и резиновых смесей на валковых машинах с использованием клиновых устройств

149



РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Роганов Л. Л.

Новые разработки устройств и механизмов для исследования и общемашиностроительного применения 157

Роганов Л. Л.

Совершенствование технологий и машин для разных отраслей машиностроения на основе развития гидроупругих и клиношарнирных механизмов 163

Роганов Л. Л., Роганов М. Л., Абрамова Л. Н.

Устройства для удержания гидроупругого механизма в исходном положении 169

Владимиров Э. А., Шоленинов В. Е.

Методика метрического анализа механизма чушколомателя 173

Мебония С. А., Натриашвили Т. М., Микаутадзе М. М.

Разработка устройства для радиальнойковки длинномерных осесимметричных изделий со сложной конфигурацией внутренней поверхности 177

Боташев С. А.

Разработка устройств с камерой пульсирующего горения для листовой штамповки 182

Обухов А. Н., Тарасов А. Ф., Паламарчук В. А., Серeda В. Г., Горбач Е. В.

Моделирование рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб 186

Шинкаренко О. М., Корчак Е. С.

Совершенствование режимов работы гидравлических прессов с насосно-аккумуляторным приводом на холостом ходе 190

Чоста Н. В., Шоленинов В. Е.

Разработка универсальной методики кинематического расчета клиношарнирных механизмов 195

Профессор Виталий Антонович Огородников (к 70-летию со дня рождения) 201

АННОТАЦИИ 203

УДК 621.77

Михалевич В. М.
Краевский В. О.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ СХЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ

В отличие от холодного деформирования при горячем на интенсивность накопления повреждений, и, соответственно, на предельную до разрушения деформацию, существенно влияет скорость деформирования. Этот параметр во многих процессах обработки металлов давлением можно варьировать в широких пределах. Поэтому важно научиться управлять скоростью деформирования так, чтобы обеспечить максимальное использование пластических свойств материала.

Для оптимизации изменения скорости деформаций при горячем деформировании в работе [1] нами сформулирована вариационная задача изопериметрического типа: определить закон изменения скорости деформации $\dot{\epsilon}_n = \dot{\epsilon}_n(t)$, при котором за заданное время t_* материал приобретает наибольшую деформацию e_* :

$$e_* = \int_0^{t_*} \dot{\epsilon}_n(t) \cdot dt \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} \int_0^{t_*} j(t_* - t; I(t)) \cdot f(\dot{\epsilon}_n(t)) \cdot dt = 1; \\ \int_0^t j(t - t; I(t)) \cdot f(\dot{\epsilon}_n(t)) \cdot dt \leq 1, \forall t \in (0, t_*), \end{cases} \quad (1)$$

где t, t – время; $j(t - t, I(t))$ – ядро наследственности; f – некоторая функция.

Предпоследнее условие в задаче (1) указывает на очевидный факт, что для обеспечения оптимального режима необходимо использовать весь ресурс пластичности материала, то есть в момент времени t_* состояние материала должно быть близким к разрушению. В то же время последнее условие исключает возможность преждевременного разрушения материала. Задача (1) решена для класса кусочно-постоянных функций: для двухступенчатой [2] и трехступенчатой [3] схем изменения скорости деформаций.

Целью работы является постановка и решение вариационной задачи (1) для случая многоступенчатого изменения скорости деформирования.

Придерживаясь предложенного в предыдущих работах алгоритма, обобщим постановку и решение вариационной задачи (1) на случай k -ступенчатого изменения скорости деформаций:

$$\dot{\epsilon}_n = \begin{cases} \dot{\epsilon}_{n1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\epsilon}_{n2}, & t_1 \leq t \leq t_2; \\ \dots \\ \dot{\epsilon}_{nk}, & t_{k-1} \leq t \leq t_*. \end{cases} \quad (2)$$

Для схемы деформирования (2) вариационная задача (1) сводится к задаче нелинейного программирования:

$$\begin{cases}
 e_* = \alpha_{u1}t_1 + \alpha_{u2}(t_2 - t_1) + \dots + \alpha_{uk-1}(t_{k-1} - t_{k-2}) + \alpha_{uk}(t_* - t_{k-1}) \rightarrow \max; \\
 \sum_{i=1}^{k-1} [\alpha_{ui}((t_* - t_{i-1})^n - (t_* - t_i)^n)] + \alpha_{uk}(t_* - t_{k-1})^n = g^n; \\
 \alpha_{u1}t_1^n \leq g^n; \\
 \alpha_{u1}(t_2^n - (t_2 - t_1)^n) + \alpha_{u2}(t_2 - t_1)^n \leq g^n; \\
 \dots\dots\dots \\
 \sum_{i=1}^{k-2} [\alpha_{ui}((t_{k-1} - t_{i-1})^n - (t_{k-1} - t_i)^n)] + \alpha_{uk-1}(t_{k-1} - t_{k-2})^n \leq g^n,
 \end{cases} \tag{3}$$

в которой целевая функция зависит от $2k - 1$ параметров: $\alpha_{u1}, \alpha_{u2}, \dots, \alpha_{uk}, t_1, t_2, \dots, t_{k-1}$. Здесь g, n – постоянные, что характеризуют свойства материала.

Анализ двухступенчатого и трехступенчатого деформирования показал, что оптимальной является схема, при которой деформирование на каждой ступени происходит до момента, который предшествует разрушению. С учетом этого на основе (3) получим:

$$\begin{cases}
 e_* = \alpha_{u1}t_1 + \alpha_{u2}(t_2 - t_1) + \dots + \alpha_{uk-1}(t_{k-1} - t_{k-2}) + \alpha_{uk}(t_* - t_{k-1}) \rightarrow \max; \\
 \alpha_{u1} = \frac{g^n}{t_1^n}; \\
 \alpha_{u2} = \frac{g^n - \alpha_{u1}(t_2^n - (t_2 - t_1)^n)}{(t_2 - t_1)^n}; \\
 \dots\dots\dots \\
 \alpha_{uk-1} = \frac{g^n - \sum_{i=1}^{k-2} [\alpha_{ui}((t_{k-1} - t_{i-1})^n - (t_{k-1} - t_i)^n)]}{(t_{k-1} - t_{k-2})^n}; \\
 \alpha_{uk} = \frac{g^n - \sum_{i=1}^{k-1} [\alpha_{ui}((t_* - t_{i-1})^n - (t_* - t_i)^n)]}{(t_* - t_{k-1})^n}.
 \end{cases} \tag{4}$$

После подстановки $\alpha_{u1}, \alpha_{u2}, \dots, \alpha_{uk}$ в e_* получим:

$$e_* = F(t_1, t_2, \dots, t_{k-1}) \rightarrow \max. \tag{5}$$

Следовательно, в результате задача нелинейного программирования (3) сведена к нахождению безусловного максимума функции $k - 1$ переменной. Очевидно, что необходимые условия экстремума имеют вид:

$$\frac{\partial F}{\partial t_i} = 0, i = \overline{1, k-1}. \tag{6}$$

Система (6) состоит из $k - 1$ нелинейных уравнений. Проанализировав структуру задачи (4), была создана Maple-программа, в которой реализовано автоматическое построение

выражения для целевой функции и системы (4) в зависимости от количества ступеней k . Кроме того, с помощью интеллектуальных мощностей Maple происходит автоматическое определение уравнений системы (6) и нахождение ее решений. Достоверность найденных решений для k -ступенчатого закона изменения скорости деформации подтверждены решениями задачи для $k = 2$ и $k = 3$, которые полностью совпали с результатами предыдущих исследований двухступенчатой и трехступенчатой схем [2, 3].

Созданную программу использовали для моделирования непрерывного кручения образцов из стали 14X17H2 при температуре 1150 °С [4]. При кручении с постоянной скоростью максимальная деформация, которую может выдержать материал до разрушения $e_* = 1,8$. При использовании двухступенчатой схемы деформирования, параметры которой определяются решением системы (6):

$$\dot{\epsilon}_n(t) = \begin{cases} 0,4329 c^{-1}, 0 \leq t \leq 3.4268; \\ 0,0164 c^{-1}, 3.4268 < t \leq 30, \end{cases} \quad (7)$$

получим деформацию $e_* = 1,914$. Согласно расчетам оптимальная трехступенчатая схема имеет вид:

$$\dot{\epsilon}_n = \begin{cases} 1,59 c^{-1}, 0 \leq t \leq 0.821; \\ 0.048 c^{-1}, 0.821 < t \leq 9.713; \\ 0.01 c^{-1}, 9.713 < t \leq 30. \end{cases} \quad (8)$$

Этой схеме соответствует $e_* = 1,939$. Решив задачу (1) для случая шести ступеней изменения скорости деформирования, получим максимальную накопленную деформацию $e_* = 1,948$ при:

$$\dot{\epsilon}_n = \begin{cases} 13.4567 c^{-1}, 0 \leq t \leq 0.079; \\ 0.3824 c^{-1}, 0.079 < t \leq 1.021; \\ 0.0633 c^{-1}, 1.021 < t \leq 4.379; \\ 0.0216 c^{-1}, 4.379 < t \leq 11.230; \\ 0.0107 c^{-1}, 11.230 < t \leq 21.021; \\ 0.0069 c^{-1}, 21.021 < t \leq 30. \end{cases} \quad (9)$$

Динамика изменения накопленной деформации в процессе деформирования при использовании разных режимов показанная на рис. 1. Следует отметить, что эффект от оптимизации будет больше для материалов с ярко выраженной зависимостью предельных деформаций от скорости деформаций.

Полученные результаты показывают, что для ступенчатого деформирования оптимальными являются схемы со снижением скорости деформирования. При этом с увеличением количества ступеней e_* также увеличивается. То есть, возможно предположить, что самая большая величина накопленной деформации e_* будет в случае, когда k бесконечно возрастает. Рассмотрение задачи (3) при $k \rightarrow \infty$, а также введение в ее структуру дополнительных ограничений, в частности на максимально возможную скорость (из технологических соображений), является одним из направлений дальнейшей работы.

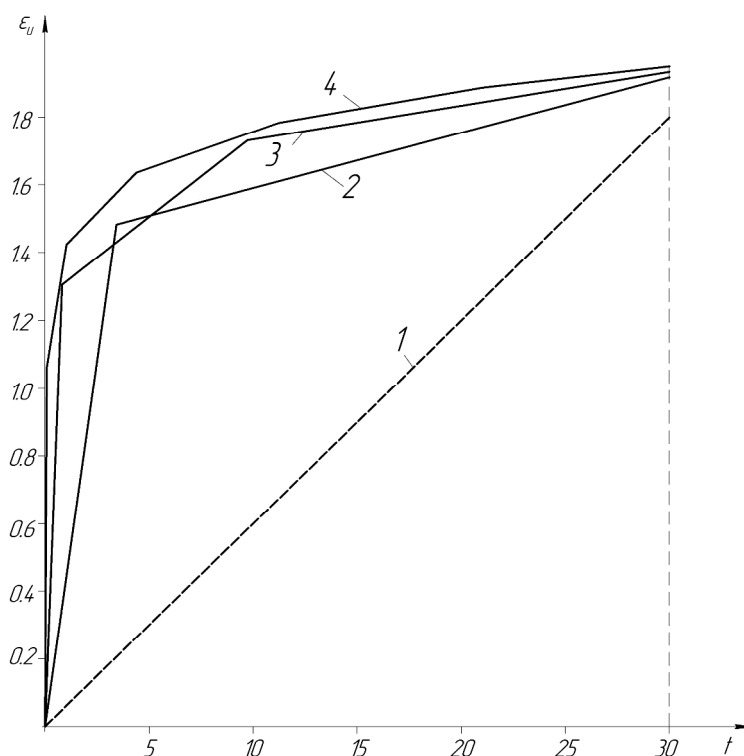


Рис. 1. Динамика изменения накопленной деформации:

1 – при деформировании с постоянной скоростью; 2 – при деформировании по схеме (7);
3 – при деформировании по схеме (8); 4 – при деформировании по схеме (9)

ВЫВОДЫ

Для определения оптимальных параметров ступенчатой схемы изменения скорости деформаций (2) при горячем деформировании, при которой за заданное время материалом получена наибольшая деформация, предложена задача нелинейного программирования (3). Построена общая структура решения задачи (3) для случая k -ступенчатой схемы изменения скорости. Найдены решения задачи (3) для двух-, трех и шестиступенчатого деформирования. Сформулированы задачи дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалевич В. М. Формулювання варіаційної задачі для моделі накопичення пошкоджень при гарячому деформуванні / В. М. Михалевич, В. О. Краєвський // *Обработка материалов давлением* : зб. научн. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2(21). – С. 12–16.
2. Михалевич В. М. Вісесиметрична осадка циліндричних заготовок / В. М. Михалевич, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк // *Наукові нотатки : міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)*. – Луцьк, 2009. – Випуск 25, ч. 1 – С. 241–249.
3. Михалевич В. М. Поиск решения вариационной задачи при горячем деформировании / В. М. Михалевич, В. О. Краєвський // *Обработка материалов давлением* : зб. научн. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1(22). – С. 38–43.
4. Влияние горячей прерывистой деформации на пластичность металла / А. А. Богатов, М. В. Смирнов, В. А. Креницын и др. // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1981. – № 12. – С. 37–40.

Михалевич В. М. – д-р техн. наук, проф. ВНТУ;

Краевский В. А. – канд. техн. наук, доц. ВНТУ.

ВНТУ – Винницкий национальный технический университет, г. Винница.

E-mail: vkraevsky@mail.ru