

В.В. ДРАГОБЕЦКИЙ, В.Ю. КОЦЮБА, Д.В. МОЛОШТАН, С.В. ШЛЫК, Е.А. НАУМОВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАТРИЦ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

Целью работы является разработка теоретических основ мониторинга на основе математического описания процессов формирования, деформирования, упрочняющей обработки и эксплуатации матриц для импульсной металлообработки. Обоснована связь между процессами формирования пластического нагружения и эксплуатационных нагрузок, матриц и их качества возможно в результате определения критериев принятия решений при мониторинге процессов формоизменения тонколистовых заготовок. Используются модели накопления трещиноватости в процессе пластической деформации. Считается, что приращение трещиноватости при пластической деформации является случайной величиной. По данным о напряженно-деформированном состоянии, а также пластичности металла, задавая вероятность разрушения металла P , определяется степень использования запаса пластичности или предельная деформация при риске получить разрушение по трещинам с вероятностью P . При выборе рационального способа упрочнения материала рабочей полости матрицы и метода формоизменения заготовки необходимо также проанализировать: степень теплового воздействия на металл, качество заготовок и литых элементов матрицы, технологические возможности, производительность, степень автоматизации и механизации, экономичность, экологичность. Установлены наиболее существенные факторы, влияющие на жизненный цикл матриц. Рассмотрены кинетический подход для определения параметров упрочняюще-стабилизирующей обработки матрицы и необходимость использования критериев упрочнения. Предложено скалярный параметр повреждаемости в условиях импульсного силового нагружения умножить на коэффициент динамичности. Его значение лежит в пределах 0,05-0,5 и зависит от материала, величины и длительности нагрузки. Предложен способ упрочняюще-стабилизирующей обработки рабочих полостей матриц.

Ключевые слова: жизненный цикл, мониторинг, матрица, пластическая деформация, тонколистовая заготовка, импульсная металлообработка.

В.В. ДРАГОБЕЦКИЙ, В.Ю. КОЦЮБА, Д.В. МОЛОШТАН, С.В. ШЛИК, О.О. НАУМОВА

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ МАТРИЦЬ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ

Метою роботи є розробка теоретичних основ моніторингу на основі математичного опису процесів формування, деформування, зміцнюючої обробки та експлуатації матриць для імпульсної металообробки. Обґрунтовано зв'язок між процесами формування пластичного навантаження та експлуатаційних навантажень, матриць і їх якості можливо в результаті визначення критеріїв прийняття рішень при моніторингу процесів формозміни тонколистових заготовок. Використані моделі накопичення трещиноватості в процесі пластичної деформації. Вважається, що збільшення трещиноватості при пластичній деформації є випадковою величиною. За даними про напружено-деформований стан, а також пластичності металу, задаючи ймовірність руйнування металу P , визначається ступінь використання запасу пластичності або гранична деформація при ризику отримати руйнування по трещинах з ймовірністю P . При виборі раціонального способу зміцнення матеріалу робочої порожнини матриці та методу формозміни заготовки необхідно також проаналізувати: ступінь теплового впливу на метал, якість заготовок і литих елементів матриці, технологічні можливості, працездатність, ступінь автоматизації та механізації, економічність, екологічність. Встановлено найбільш істотні фактори, які впливають на життєвий цикл матриць. Розглянуто кінетичний підхід для визначення параметрів зміцнюючо-стабілізуючої обробки матриці та необхідність використання критеріїв зміцнення. Запропоновано скалярний параметр пошкоджуваності в умовах імпульсного силового навантаження помножити на коефіцієнт динамічності. Його значення лежить в межах 0,05-0,5 і залежить від матеріалу, величини і тривалості навантаження. Запропоновано спосіб зміцнюючо-стабілізуючої обробки робочих порожнин матриць.

Ключові слова: життєвий цикл, моніторинг, матрица, пластична деформація, тонколистова заготовка, імпульсна металообробка.

V. DRAGOBETSII, V. KOCIUBA, D. MOLOSHTAN, S. SHLYK, O. NAUMOVA

A TECHNOLOGICAL MONITORING OF THE DIE WORKING SURFACES FOR THE PULSE STAMPING

The aim of the work is to develop the theoretical foundations of monitoring based on a mathematical description of the processes of formation, deformation, hardening processing and operation of matrices for pulsed metal working. The connection between the processes of formation of plastic loading and operational loads, the matrices and their quality is possible as a result of the determination of decision criteria when monitoring the process of forming thin sheets. The most significant factors affecting the life cycle of the dies have been determined. The kinetic approach to determining the parameters of the hardening and stabilizing treatment of the die and the need to use the hardening criteria have been considered. The scalar damage parameter in the conditions of the pulsed force loading is proposed to be multiplied by the dynamic coefficient. Its value lies within 0.05-0.5 and depends on the material size and the duration of the load. On the basis of tasks decision the fluctuation theory a ground over of connection is brought between the processes of strengthening-stabilizing treatment of working cavities of the die is proposed. A method for strengthening-stabilizing treatment of working cavities of the die is proposed. Models of the accumulation of fractures in the process of plastic deformation have been used. It is believed that the increment of fractures during the plastic deformation is a random value. According to the data on the stress-strained state, as well as the plasticity of the metal, setting the probability of the metal failure P , the degree of utilization of the plasticity stock or the ultimate deformation is determined when there is a risk of the fracture of cracks with the probability R . When choosing a rational method of strengthening the die working cavity material and the blank forming method it is also necessary to analyze the following: the degree of thermal effects on the metal, the quality of blanks and cast die elements, the technological capabilities, the productivity, the degree of automation and mechanization, the efficiency, the environmental friendliness. The most significant factors affecting the life cycle of the die are determined. The kinetic approach to determine the parameters of the hardening and stabilizing treatment of the die and the need to use the hardening criteria are considered. A scalar damage parameter in the conditions of the pulsed force loading is proposed to be multiplied by the dynamic coefficient. Its value lies within 0.05-0.5 and depends on the material, size and the duration of the loading. A method for a strengthening-stabilizing treatment of the working cavities of the dies is proposed.

Keywords: life cycle, monitoring, die, plastic deformation, thin blank, pulsed metal treatment.

Введение. В любом развитом обществе поддержание высоких темпов его развития и достижения в промышленности связано с уровнем эффективности технологий производства и обработки заготовок и полуфабрикатов, в том числе и методами обработки давлением. Развитие технологий производства и эксплуатации материалов и производства заготовок идет в направлении выбора

наиболее рационального, экономичного способа обработки заготовок, решения взаимосвязанным задач по сохранению конкурентноспособности на мировом рынке, накопления капитала, поддержания высоких темпов экономического развития и роста производительности труда. В наибольшей степени это затрагивает многофункциональные транспортные системы, одним из конструктивных элементов которых являются листовые заготовки, обработка которых характеризуется повышением сложности технологии их формоизменения. Решения комплекса перечисленных задач непрерывно связано с использованием новых технологий сквозной информационной поддержки сложной научной продукции на всех этапах ее жизненного цикла, который включает: маркетинг, проектирование, производство, эксплуатацию, ремонт и утилизацию. В настоящее время особую значимость приобрела проблема долговечности штампов. Это связано с интенсификацией деформирующих усилий, освоением и широким применением труднодеформируемых и высокопрочных материалов и прогрессивных методов штамповки. Особенно в тяжелой эксплуатации находятся матрицы и штампы для импульсной металлообработки. Анализ литературных источников показывает, что резервом повышения стойкости матриц, является конструирование многослойных равнопрочных скрепленных матриц с наперед заданным уровнем кольцевых напряжений на гравюре [1]. Не менее эффективно применение методов химико-термической обработки и других видов обработки, обеспечивающих формирование сжимающих напряжений на рабочей поверхности матрицы [2]. Новые экономно легируемые штамповые стали и чугуны с шаровидным графитом обеспечивают регулирование объемно и поверхностно-распределенных специальных свойств поверхностного слоя и кинетики их изменения [2–6]. Основные направления, связанные с повышением стойкости штампов с учетом обобщения данных в работе [2] следующие:

- совершенствование математического аппарата технологической физики разрушения штампового инструмента в приложении к задачам оптимизации термомеханических параметров нагружения с установлением термодинамического критерия разрушения:

- определение флуктуации макропараметров, наблюдаемых в процессе контроля состояния матриц;
- разработка расчетных методов нахождения уравнения движения поверхностных слоев матрицы основанных на феноменологической теории неравновесных процессов, кинетической теории статистической физики, на термодинамическом и общесистемном подходах. В целом обеспечение возможности принятия эффективных решений при поддержке жизненного цикла технологического оснащения для изготовления деталей транспортных средств и газотурбинных двигателей является актуальной научной проблемой. Целью работы является разработка теоретических основ мониторинга

на основе математического описания процессов, деформирования, упрочняющей обработки и эксплуатации матриц для импульсной штамповки.

Материал и результаты исследований. При эксплуатации рабочей поверхности матрицы происходят сложные процессы.

Развитие этих процессов зависят от физико-механических и технологических свойств взаимодействующих материалов штампуемых заготовок и матрицы, параметров силового нагружения, напряженного состояния рабочей поверхности матрицы.

Искажение и разрушение рабочей поверхности матрицы отклонение геометрических параметров связано с физико-механическими процессами, протекающими при импульсной штамповке, установке заготовки и извлечении отштампованной детали, взаимодействии с окружающей и рабочей средой. Геометрия поверхности матрицы отражает протекающие при штамповке физико-механические процессы и наличие флуктуации, которые проявляются в виде шероховатости поверхности, выкрашивании, откола микро и макрочастиц и образовании микротрещин. Функции по надзору за состоянием объектов (заготовка, полуфабрикаты, деталь), сбор и обработку информации о жизненном цикле выполняет мониторинг, который является частью этих технологий. Оценка и прогнозирование состояния объекта и процессов их жизнеобеспечения относится к числу наиболее важных функций мониторинга [1]. Неотъемлемой частью технологического мониторинга является разработка математических моделей процессов образования и разрушения рабочих поверхностей матриц. При формообразовании и эксплуатации происходят сложные процессы пластической и упругой деформации, циклического нагружения и др. Для рассмотрения процессов образования, пластического деформирования и циклического нагружения принята модель многокомпонентной гидротермодинамической упруго-пластической системы, неравновесной термодинамики, теории пластичности и флуктуаций [1], что позволяет выявить признаки, характеризующие состояние рабочих поверхностей матриц. Используя шеновское толкование энтропии, рассматриваемую как меру неопределенности возмущающего воздействия или сигнала, передаваемого случайным источником можно вычислить или измерить малые флуктуации термодинамических и механических величин. Центральную роль в теории неравновесных процессов, таких как изготовление методами литья матриц, а также пластическое формоизменение играет уравнение баланса энтропии.

В этом случае целесообразно воспользоваться идеей об энергетической аналогии процессов механического плавления и разрушения металлов. Тогда плотность внутренней энергии, накопленной в локальном объеме материала матрицы, рассматривается как предельные статистические искажения.

При термодинамическом рассмотрении необратимого процесса разрушения рабочей полости матрицы, как твердого тела применимы два равноправных подходов – энтропийный и энергетический. Для необратимых процессов предположение ожидается энтропийному подходу с использованием уравнений баланса энтропии. Соотношение второго закона термодинамики для модели динамической пластичности можно представить в виде

$$\frac{dS}{dt} = T^{-1} \left[\sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^n - \left(\frac{\partial H}{\partial \mu_s^A} - \frac{\partial q_i}{\partial x_i} \right) \right], \quad (1)$$

где s – удельная энтропия;
 q_i – компоненты вектора притока теплоты;
 μ_s^A – внутренние параметры состояния;
 $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – компоненты тензора скорости деформации;
 σ_{ij} – компоненты тензора напряжений;
 T – абсолютная температура;
 $H = H(\sigma_{ij}, \mu_s^A, T)$ – функция состояния.

$$j_s^A = \mu_s^A \frac{d\mu_s^A}{dt}. \quad (2)$$

При этом $\dot{\varepsilon}_{ij}^n = \dot{\varepsilon}_{ij}^p + \dot{\varepsilon}_{ij}^\mu$,

где

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = h \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \left(\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \cdot \sigma_{kl} \right),$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^\mu = h \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \left(\frac{\partial f}{\partial \mu_s^A} j_s^A \right).$$

Функция f рассматривается как обобщение функции Мизеса

$$f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^n, \mu_{ij}) = I_2^{0,5} - C(\ell_{ij}^n, \mu_{ij}),$$

где I_2 – второй инвариант тензора напряжений;

μ_{ij} – тензор плотности дислокаций;

$$C = C_0 + 2\gamma_i^n - \beta n_i,$$

где α, β, C_0 – постоянные коэффициенты;

γ_i^n – интенсивность деформаций;

C – скалярная функция, зависящая от тензоров неупругих деформаций и дефектов.

Кинетический подход, учитывающий процесс накопления повреждаемости в материале матриц целесообразно использовать для определения параметров упрочняюще-стабилизирующей обработки рабочих полостей матриц. Как было отмечено ранее, одними из видов разрушения рабочих полостей матрицы являются необратимые пластические деформации и откол. Необратимые пластические деформации материала матрицы не приводят к ее разрушению, но приводят к искажению точностных параметров, получаемых деталей. В качестве

кинетических параметров применима плотность дислокаций n_{ij} или скалярная характеристика

$$n = \left(n_{ij} \frac{n_{ij}}{2} \right)^{0,5},$$

и повреждаемость которая характеризуется скалярным параметром ω через эти параметры определяются компоненты тензора средних напряжений в материале матрицы. Установлено [7], что кинетические уравнения целесообразно использовать совместно с интегральным критерием разрушения

$$\int_0^{t_p} \sigma_{kk} \frac{d\omega}{dt} \leq W_{kp},$$

где t_p – момент времени разрушения;

σ_{kk} – компоненты тензора напряжений;

W_{kp} – удельная работа напряжений на объемных деформациях.

Физический смысл данного критерия состоит в том, что разрушение в заданной точке сплошной среды наступает в тот момент, когда удельная работа напряжений на объемных деформациях достигнет критической величины. При высокоскоростном нагружении скалярный параметр ω необходимо умножить на коэффициент динамичности β , который зависит от материала, величины и длительности нагрузки.

Конкретная форма последнего для достаточно общей модели многокомпонентный гидротермодинамической и упругопластической систем включает ряд составляющих. Последние соответствуют источникам, которые относят к неравновесным процессам, существенно различной физико-химической природы. Источники энтропии обусловлены химическими реакциями, теплопроводности, диффузией, вязкостными явлениями, скольжением и двойникованием атомных плоскостей кристаллов при пластической деформации. Возможно также использование в рассматриваемой системе расплавленный металл кинетической теории статической физики с использованием кинетических уравнений.

Существенно снизить повреждаемость матриц возможно при осуществлении процесса пластической деформации в равновесных условиях или в условиях наиболее экономного проведения процесса формообразования заготовки и снижения доли энергии поглощаемой матрицей. В условиях импульсного и ударного нагружения матриц при штамповке взрывом, магнитоимпульсной, электрогидравлической и на молотах одним из видов разрушения формообразующей полости матрицы или штампа является откол и выкрашивание материала. Теоретическое описание этих процессов укладывается в обобщенную теорию измельчения с привлечением квазихимического рассмотрения «реакции» зерен и шаров с дроблением последних, в рамках формализма последовательных и параллельных химических реакций [7].

При импульсном нагружении происходит не только накопление повреждаемости материалов (металлов и сплавов), связанное с появлением и ростом числа микродефектов, микропор и их ростом, но и образование новых фаз и происходят структурные изменения (скольжение и размножение дислокаций), поэтому вполне логично использовать методы импульсной обработки для стабилизации размеров рабочей полости матрицы и упрочнения рабочей, формообразующей поверхности (гравюры штампов). При штамповке взрывом крупногабаритных листовых деталей из труднодеформируемых материалов используют матрицы значительных размеров, получаемых методами литья. Их упрочняющая термообработка либо затруднительна, либо не осуществима. Это приводит к тому, что матрицы в процессе штамповки пластически деформируются и теряют свою форму и размеры. Исключить или значительно уменьшить необратимые деформации материала матрицы возможно путем предварительного их деформирования с использованием импульсных источников энергии. Для этого необходимо у вновь изготовленных матриц предусмотреть допуск на пластическую деформацию, равную предельной равномерной при динамическом нагружении. Перед началом эксплуатации матрицы необходимо провести ее импульсное нагружение. В результате этого происходит упрочнение поверхности рабочей полости матрицы и снижение пластических свойств материала. Это практически исключает возникновение необратимых пластических деформаций. Снижает вероятность откола и увеличивает жизненный цикл технологической оснастки.

При выборе рационального способа упрочнения материала рабочей полости матрицы и метода формоизменения заготовки необходимо также проанализировать следующие параметры:

- степень теплового воздействия на металл;
- качество заготовок и литых элементов матрицы;
- технологические возможности;
- производительность;
- степень автоматизации и механизации;
- экономичность;
- экологичность.

Для контроля необратимых деформаций рабочей полости матрицы предлагаются соответствующие критерии [2]. Наиболее целесообразно использовать критерий деформируемости Г. Д. Деля, В. А. Огородникова, В. Г. Нахайчука [2] для определения предельной деформации. Среди множества способов анализа напряженного состояния и оценки влияния законов его изменения на пластичность широкое распространение получили подходы, в которых напряженное состояние характеризуется показателями, содержащими инварианты тензора или девиатора напряжений [2–10]. Производство энтропии при импульсном нагружении (штамповка взрывом) обусловленное ударно-волновым воздействием определяется билинейной формой

$$s_a = \sum_{i=1}^3 I_i A_i, \quad (3)$$

где s_a – плотность источника энтропии, обусловленной акустическими явлениями;

I_i, A_i – термодинамические потоки и силы, соответствующие взрыву заряда взрывчатого вещества, соударению заготовки с полостью матрицы и действию волн разгрузки.

Подобно этому, производство энтропии, которое обусловлено необратимой деформацией формообразующих полостей матрицы и связано с пластическими и вязкими явлениями

$$s_{sv} = \sum_{j=1}^3 I_j A_j, \quad (4)$$

где s_{sv} – плотность источника энтропии;

$I_j A_j$ – плотности потоков импульса и термодинамических сил, которые относятся к нормальным, сдвиговым и инерционным составляющим деформаций.

Источник энтропии, обусловленной отколом и выкрашиванием рабочих полостей матрицы в результате последовательных и параллельных химических реакций

$$s_c = \sum_{k=1}^R I_k A_k \quad (5)$$

где s_c – плотность энтропии,

I_k, A_k – скалярные термохимические потоки и силы.

Когда одновременно происходят все ранее упомянутые процессы выражения (3), (4) и (5) суммируются. При термодинамическом равновесии производство энтропии δ равно нулю.

Во втором случае описание процессов нагружения матрицы может использоваться кинетическая теория статической физики.

Вывод. Таким образом, использование уравнений неравновесной термодинамики, определяющих взаимодействие термодинамических и механически сил и движение потоков, обусловленных акустическими, вязкопластическими и термохимическими явлениями, и также кинетических уравнений статической физики, обеспечивает возможность для оценки макроскопических, оцениваемых при мониторинге величин (необратимые пластические деформации рабочей полости матриц для импульсной металлообработки, выкрашивание частиц, их откол, образование трещин и искажение геометрии матрицы), характеризующие процесс эксплуатации матриц для импульсной металлообработки.

Список литературы

1. Невлюдов И. Ш., Андрусевич А. А., Второв Е. П. Теоретические основы технологического мониторинга монтажных соединений РЭС. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. № 58 (1258). С. 134–140.
2. Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. *Энергия деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы)*. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 204 с.
3. Колмогоров В. Л. *Напряжения, деформации, разрушения*. Москва: Металлургия, 1970. 229 с.
4. Огородников В. А. *Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении*. Киев: УМК ВО, 1989. 152 с.
5. Огородников В. А. *Оценка деформируемости металлов при обработке давлением*. Киев: Вища школа, 1983. 175 с.
6. Унсков Е. П., Колмагоров В. Л., Огородников В. А. *Теорияковки и штамповки: учебное пособие для студентов машиностроительных и металлургических вузов*. Под общей редакцией Ункова Е. П., Овчинникова А. Г. 2-е изд. перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1992. 720 с.
7. Майборода В. П., Кравчук А. С., Хомин Н. Н. *Скоростное деформирование конструкционных материалов*. Москва: Машиностроение, 1986. 264 с.
8. Малышев В. П., Абдрахманов Б. Т., Нурмагамбетова А. М. *Плавокость и пластичность металлов*. Москва, Научный мир, 2004. 148 с.
9. Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, E. & all. The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of The High – Voltage Plants // 2017. – IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – P. 400–403. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248944.
10. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles //, International Journal of Engineering and Technology(UAE). Vol. 7, Issue 4, 2018, P. 92-99. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558.
1. Nevlyudov I. SH., Andrusевич A. A., Vtorov E. P. Teoreticheskie osnovy tekhnologicheskogo monitoringa montazhnyh soedinenij RES [Theoretical bases of technological monitoring of installation connections of RES]. *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu "HPI": zb. nauk. pr. Temat. vip.: Novi rishennya v suchasnykh tekhnologiyah* [Bulletin of the National Technical University «KhPI»: a collection of scientific papers. Thematic issue: New solutions in modern technologies]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2015, no. 58 (1258), pp. 134–140.
2. Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. *Energiya deformacii. Razrushenie (zadachi avtotekhnicheskoy ekspertizy)* [Stresses, deformations, destruction. Strain energy destruction (tasks autotechnical examination)]. Vinnica, UNYVERSUM-Vynnyca, 2005, 204 p.
3. Kolmogorov V. L. *Napryazheniya, deformacii, razrusheniya* [Stresses, deformations, destruction]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970, 229 p.
4. Ogorodnikov V. A. *Deformiruemost' i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii* [Deformability and destruction of metals during plastic forming]. Kiev, UMK VO Publ., 1989, 152 p.
5. Ogorodnikov V. A. *Ocenka deformiruemosti metallov pri obrabotke davleniem* [Evaluation of metal deformability during pressure treatment]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1983, 175 p.
6. Unskov E. P., Kolmagorov V. L., Ogorodnikov V. A. *Teoriya kovki i shtampovki: uchebnoe posobie dlya studentov mashinostroitel'nyh i metallurgicheskikh vuzov* [Theory of forging and stamping: a manual for students of engineering and metallurgical universities]. Pod obshchej redakciej Unskova E. P., Ovchinnikova A. G., 2-e izd. pererab. i dop. [ed.: Unskova E. P., Ovchinnikova A. G. 2nd edition revised and enlarged]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992, 720 p.
7. Majboroda V. P., Kravchuk A. S., Homin N. N. *Skorostnoe deformirovanie konstruktsionnyh materialov* [High-speed deformation of construction materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986, 264 p.
8. Malyshev V. P., Abdrahmanov B. T., Nurmagambetova A. M. *Plavkost' i plastichnost' metallov* [Melting and ductility of metals]. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2004, 148 p.
9. Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, E. & all. The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of The High – Voltage Plants // 2017. – IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – P. 400–403. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248944.
10. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles //, International Journal of Engineering and Technology(UAE). Vol. 7, Issue 4, 2018, P. 92-99. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558.

References (transliterated)

Поступила (received) 05.07.2012

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Драгобецький Володимир Вячеславович (Драгобецький Владимир Вячеславович, Dragobetskii Vladimir) – доктор технічних наук, професор, Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, завідує кафедрою «Технологія машиностроєння»; г. Кременчуг, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9637-3079>; e-mail: vldrag@kdu.edu.ua.

Коцюба Віктор Юрійович (Коцюба Виктор Юрьевич, Kociuba Viktor) – заступник технічного директора Акціонерного товариства «Мотор Січ»; г. Запоріжжя, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9422-1637>; e-mail: ktu@motorsich.com.

Молоштан Дмитро Васильович (Молоштан Дмитрий Васильевич, Moloshtan Dmuro) – Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, аспірант кафедри «Технологія машиностроєння»; г. Кременчуг, Україна; e-mail: vldrag@kdu.edu.ua.

Шлик Сергій Вікторович (Шлык Сергей Викторович, Shlyk Sergii) – кандидат технічних наук Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри «Технологія машиностроєння»; г. Кременчуг, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9422-1637>; e-mail: svshlyk@gmail.com.

Наумова Олена Олександрівна (Наумова Елена Александровна, Naumova Elena) – Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, інженер кафедри «Технологія машиностроєння»; г. Кременчуг, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7733-5971>; e-mail: vldrag@kdu.edu.ua.