

ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA
ДДМА
ДГМА
DSEA
DSMA

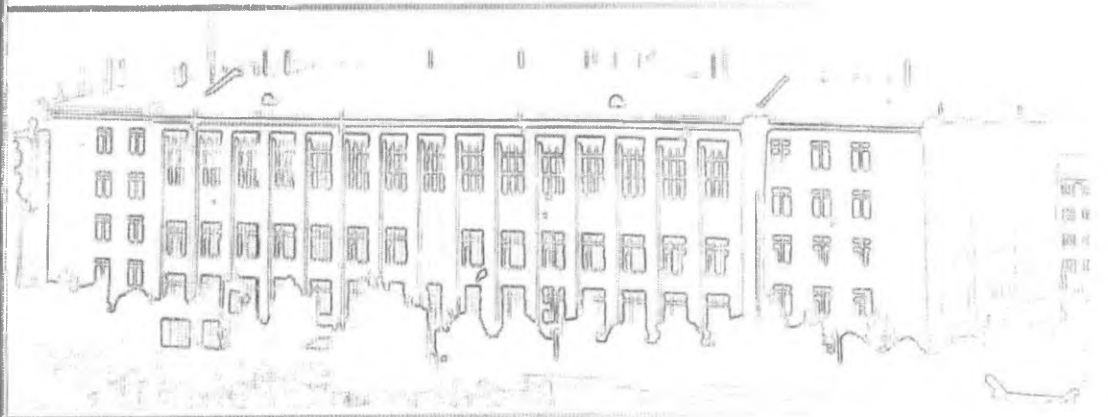
ISSN 1993-8322



ВІСНИК

Донбаської
Державної
Машинобудівної
Академії

№ 1 (11)



2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

ВІСНИК

ДОНБАСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МАШИНОБУДІВНОЇ
АКАДЕМІЇ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 1 (11) – 2008

Краматорськ

ВІСНИК
Донбаської державної
машинобудівної академії

№1 (11) – 2008

Збірник наукових праць

Засновник

Донбаська державна
машинобудівна академія

Свідоцтво про державну реєстрацію
серія КВ № 9778 від 19.04.2005

HERALD
of the Donbass State
Engineering Academy

№1 (11) – 2008

Collection of science papers

Founder

Donbass State
Engineering Academy

Registration certificate
КВ № 9778 dated 19.04.2005

Вісник ДДМА віднесено до переліку № 18 фахових видань України з технічних та економічних наук (бюлетень ВАК України № 8, 2006).

Рекомендовано до друку вченою радою Донбаської державної машинобудівної академії (протокол № 8 від 03 квітня 2008 р).

Редакційна колегія: Алієв І. С., д-р техн. наук, проф. (голова редакційної колегії); Клименко Г. П., д-р техн. наук, проф. (заступник голови); Доброносів Ю. К., канд. техн. наук, доц., (відповідальний секретар секції технічних наук); Макаркина Г. В., канд. екон. наук, доц., (відповідальний секретар секції економічних наук); Авдєєнко А. П., канд. хім. наук, проф.; Белкін М. Я., д-р техн. наук, проф.; Булеєв І. П., д-р екон. наук, проф.; Вітлінський В. В. д-р екон. наук, проф.; Вишневський В. П., д-р екон. наук, проф.; Гедрович А. І., д-р техн. наук, проф.; Єськов О.Л., д-р екон. наук, проф., Заблоцький В. К., д-р техн. наук, проф.; Зорі А. А., д-р техн. наук, проф.; Кассов В. Д., д-р техн. наук, проф.; Каргін А. А., д-р техн. наук, проф.; Карпенко В. М., канд. техн. наук, проф.; Ковалевський С. В., д-р техн. наук, проф.; Ковальов В. Д., д-р техн. наук, проф.; Ковальов В. Н., д-р екон. наук, проф.; Клименюк Н. Н., д-р екон. наук, проф.; Кравчук Л. В., д-р техн. наук, проф.; Лаптев О. М., д-р техн. наук, проф.; Міленін А. А., д-р техн. наук, проф. (Польща); Міроненко Є. В., д-р техн. наук, проф.; Носко П. Л., д-р екон. наук, проф.; Панков В. А., д-р екон. наук, проф.; Роганов Л. Л., д-р техн. наук, проф.; Сатонін О. В., д-р техн. наук, проф.; Соколов Л. М., д-р екон. наук, проф.; Скудар Г. М., д-р екон. наук, проф.; Тарасов О. Ф., д-р техн. наук, проф.; Федорінов В. А., канд. техн. наук, проф.; Хричіков В. Є., д-р техн. наук, проф.; Яковлев С. С., д-р техн. наук, проф. (Росія).

Відповідальний за випуск проф. Ковалевський С. В.

У збірнику вміщено статті з різних напрямів економічних наук, які підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковими співробітниками, аспірантами, пошукувачами, спеціалістами.

Збірник призначений для наукових та інженерних працівників, аспірантів та студентів.

Статті прорецензовані членами редакційних колегій у галузі «Економічні науки».

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

| | |
|--|-----|
| Колот О. В., Колот В. О. Энергозберігаюча технологія віброреформаційного старіння – резерв забезпечення якості виробів | 83 |
| Косенко А. Г., Борисенко Ю. Б., Данильченко Е. С., Медведев В. С. Разработка и исследование установки для электроискрового легирования | 90 |
| Макаренко Н. А., Грановский Н. А., Богуцкий А. А., Куций А. М. Плазменная наплавка разнополярным импульсным током | 96 |
| Маковецкий В. В., Маковецкий А. В. К систематизации форм поковок сложной пространственной конфигурации из титановых сплавов, получаемых горячей штамповкой | 100 |
| Марущак П. О., Ясний О. П. Прогнозирование влияния эксплуатационных температур на трещиностойкость стали 25Х1М1Ф | 105 |
| Медведев В. С., Аносов В. Л., Шпота С. А. Повышение эффективности систем инструментального обеспечения автоматизированных участков | 110 |
| Мироненко Е. В., Гузенко В. С., Ковалёв Д. Г. Исследование прочности инструмента для тяжелых токарных станков | 116 |
| Панчук В. Г. Методика розрахунку сили різання при відрізанні фрезою | 122 |
| Периг А. В., Лаптев А. М., Подлесный С. В. Использование метода верхней оценки для анализа процесса равноканального углового прессования | 128 |
| Петрина Ю. Д., Яким Р. С., Пасинович Т. Б. Вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на точність формування отворів під посадку твердосплавних зубків | 135 |
| Пітулей Л. Д. Розробка алгоритму управління технологічними параметрами – амплітудою і частотою об'ємного віброармування озброєння бурового долота | 141 |
| Поликарпов Ю. В. Кинематика движения крана на участке взаимодействия реборд с рельсами | 145 |
| Раздобрев В. Г., Жучков С. М., Паламарь Д. Г. Математическое моделирование превращений, происходящих в арматурном прокате при термическом упрочнении по способу прерванной закалки с самоотпуском | 151 |
| Роганов Л. Л., Абрамова Л. Н. Экспериментальные исследования сил перемещения плунжера во втулках – уплотнениях цилиндров гидропрессов | 157 |
| Саункин В. Т., Онищук С. Г., Миранцов С. Л., Тулупов В. И. Повышение производительности и точности контроля деталей | 162 |
| Смирнов Е. Н., Белевитин В. А. Исследование деформированного состояния непрерывнолитых блюмов при пластическом формоизменении на стадии кристаллизации | 166 |
| Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А. Кузьменко А. Ю., | 172 |
| Партала Л. П. Ливарні властивості жаростійких сталей | |
| Цыганаш В. Е. Решение задачи оптимального управления электрическим режимом мощного энергопотребителя | 178 |
| Штихно А. П., Алімов В. І., Новиков А. В. Вплив деформаційно-термічної обробки зв'язаних з'єднань сталей для металоконструкцій | 183 |

УДК 670.191.33

Марущак П. О., Ясний О. П.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕМПЕРАТУР
НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 25Х1М1Ф**

Увеличение скорости разливки слябов требует повышения точности прогнозирования ресурса роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с учетом влияния эксплуатационных усталостных повреждений [1]. Не смотря на определенные успехи в оптимизации микроструктуры сталей, основной причиной замены роликов на металлургических предприятиях остаются усталостные трещины. Они зарождаются вследствие исчерпания пластичности материала в результате воздействия циклических термомеханических напряжений. На отдельных участках поверхности эти микротрещины стираются, в других случаях развиваются внутрь тела ролика под прямым углом. При достижении глубины 5...7 мм, происходит выделение магистральной трещины, которая при ее дальнейшем развитии способна вызвать разрушение конструкции [2].

Таким образом, целью данной работы будет являться исследование скорости роста усталостных трещин (РУТ) и дальнейшее использование полученных закономерностей для прогнозирования ресурса конструкции в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

В работе рассмотрено влияние температуры на скорость РУТ в стали 25Х1М1Ф при температурах +20, 375, +600 °С, а также статистический анализ полученных экспериментальных зависимостей.

Методика эксперимента

Исследовали компактные образцы толщиной 19 мм при внецентренном растяжении на сервогидравлической установке СТМ-100 при температурах +20, +375, +600 °С. Высокотемпературные условия испытаний, исследованные в настоящей работе, соответствуют максимальной и минимальной точке эксплуатационного термомеханического цикла ролика МНЛЗ. Влияние термического нагружения не учитывали, поскольку доминирующее влияние на развитие усталостной трещины в ролике имеет механическая составляющая. Кроме того, известно, что КДУР термомеханического нагружения с наложением синфазной и противофазной температурных составляющих лежат между зависимостями, полученными в изотермических условиях при максимальной и минимальной температурах термоцикла [3].

Образцы вырезали из цельнованного ролика МНЛЗ, диаметром 330 мм на расстоянии 25 мм от рабочей поверхности. Порезку осуществляли на лентопильном станке СЛП-8550 при подаче пилы 0,0035 мм/зуб и интенсивном охлаждении зоны резания 7-10% эмульсией Укринол-1. Ролик разрезали в радиальном направлении на сегменты шириной 55 мм, из которых вырезали призматические заготовки. Заготовкам придавали заданную геометрию с помощью фрезерной обработки. Рабочий участок образца полировали, обеспечив чистоту обработки, соответствующую высоте шероховатости не более 0,4 мкм.

Скорость РУТ определяли делением приращения длины трещины на число циклов нагружения, за которое она проходила это расстояние. Полученные значения скорости роста трещины da/dN и коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) относили к конечному размеру трещины. Циклическое нагружение осуществляли при постоянной величине нагрузки и частоте нагружения 0,1 Гц. Коэффициент интенсивности напряжений компактных образцов определяли по формуле:

$$K = \frac{P}{t \cdot \sqrt{W}} \cdot Y, \quad (1)$$

$$Y = \sqrt{l/W} \cdot (29,6 - 185(l/W) + 655(l/W)^2 - 1017(l/W)^3 + 639(l/W)^4),$$

где P – нагрузка;

t, W – соответственно толщина и ширина образца;

l – длина трещины.

Для описания скорости разрушения на втором участке диаграммы была принята формула Пэриса:

$$(da/dN) = C \Delta K^n, \quad (2)$$

где C и n – константы материала;

ΔK – размах коэффициента интенсивности напряжений (КИН);

$\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$;

K_{\min} , K_{\max} – соответственно значения наименьшего и наибольшего значения КИН в цикле нагружения.

Условия плоской деформации определяли по критерию:

$$t \geq 2,5 \left(\frac{K_I}{\sigma_{0,2}} \right)^2 \quad (3)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести материала.

Трещиностойкость материала

Металл роликов – сталь 25X1M1Ф подвергался ковке, проходил механообработку и термообработку. На основе металлографических исследований выявлено, что в металле присутствуют строчечные и одиночные неметаллические включения, вытянутые в направлении деформации при ковке. Сталь имеет феррито-сорбитную структуру.

Таблица 1

Химический состав стали 25X1M1Ф

| Марка стали | Содержание элементов, мас % | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------|
| | Легирующие элементы, % | | | | | | |
| 25X1M1Фл (ГОСТ 20072-74) | C | Mn | Si | V | Mo | Ni | Cr |
| | | 0,23- 0,29 | 0,40- 0,70 | 0,17- 0,37 | 0,15-0,30 | 0,60- 0,80 | 0,30 |

Примечание. Содержание серы до 0,025 %, фосфора не выше 0,035 %.

Кривые регрессии, построенные по экспериментальным точкам методом наименьших квадратов, позволяет сделать вывод, что увеличение температуры испытаний от +20 и +375 °C не влияет на скорость РУТ при $\Delta K < 45 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. В дальнейшем, с увеличением ΔK от 60 до 80 $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$, скорость РУТ в стали 25X1M1Ф при +375 °C, по сравнению с +20 °C, увеличивается от 2 до 10 раз, что особенно проявляется в области соответствующей началу нестабильного развития трещины.

Повышение температуры испытаний от +375 °C до +600 °C приводит к повышению скорости РУТ примерно в 4 раза во всем исследованном диапазоне размаха КИН.

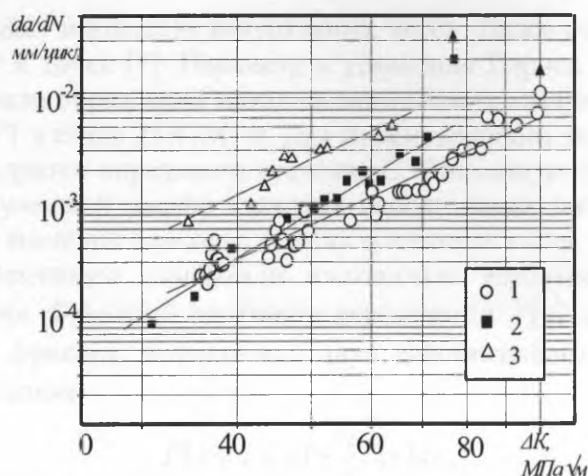


Рис. 1. Зависимость скорости РУТ в стали 25Х1М1Ф при температурах +20 °С (1), +375 °С (2) +600 °С (3) от размаха КИН

Значения постоянных регрессии для образцов испытанных при различных температурах приведены в табл. 2.

На основании граничных условий использования КИН для описания НДС в вершине усталостной трещины (формула 2), следует, что плоское деформированное состояние в исследованном образце сохраняется для температуры испытаний +20 °С до уровня $\Delta K=62,6 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, при +375 °С до $\Delta K=50,8 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, при +600 °С до $\Delta K=32,2 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Таблица 2

Характеристики трещиностойкости стали 25Х1М1Ф

| Марка стали | Температура, 0С | Константы | |
|-------------|-----------------|--|------|
| | | ф-ла (2) | |
| | | $C,$ $\frac{\text{мм/цикл}}{(\text{МПа}\sqrt{\text{м}})}$ | n |
| 25Х1М1Ф | +20 | $1,11 \cdot 10^{-3}$ | 3,16 |
| | +375 | $9,26 \cdot 10^{-11}$ | 4,09 |
| | +600 | $6,6 \cdot 10^{-9}$ | 3,26 |

При значениях КИН выше приведенных, в вершине трещины реализуется плоское напряженное состояние и полученные зависимости теряют инвариантность относительно длины трещины и толщины образца.

Статистический анализ данных трещиностойкости

Полагают, что C и n (табл. 1) являются константами материала. Но как описано в работах [4–6] величина C может колебаться в некотором диапазоне в зависимости от условий испытаний. Графическое представление экспериментальных данных свидетельствует о том, что для каждой исследованной температуры имеются свои значения параметров функции

$\lg \frac{da}{dN} = f(\lg \Delta K)$, являющие случайными величинами для серии образцов, испытанных в одинаковых условиях.

Для построения функции распределения параметра C использовали следующую схему: случайным образом, при помощи генератора псевдослучайных чисел выбирали число k

$5 \leq k \leq 20$, k принадлежит множеству натуральных чисел. Далее выбирали из среднеамплитудного участка КДВР k точек [7]. Параметр n уравнения Пэриса фиксировали. Предварительно, его значение было определено методом наименьших квадратов для экспериментальных точек скорости РУТ в стали 25Х1М1Ф. Для фиксированного значения n по k точкам методом наименьших квадратов определяли значение C . Описанную процедуру повторили 100 раз. В результате, полученный массив значений использовали как исходную информацию для программы оценки значений наиболее распространенных типов распределений.

Случайную переменную описывали плотностью вероятности или кумулятивной функцией распределения. Функцией плотности вероятности $f(x)$ случайной переменной X является непрерывная функция, которая для двух действительных чисел a и b , при чем $a \leq b$ удовлетворяет условия:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx,$$

$$f(x) \geq 0, \forall x \in R.$$

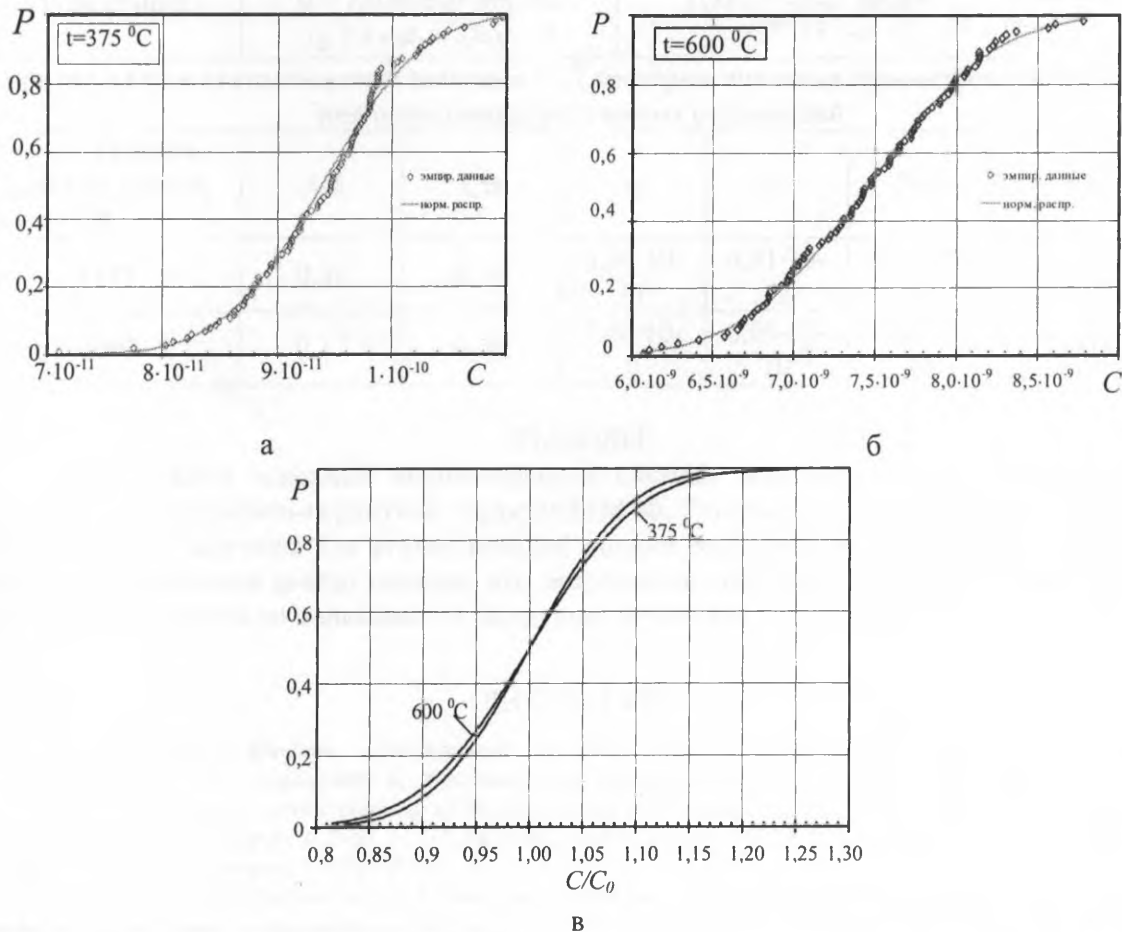


Рис. 2. Кумулятивная функция распределения C для температуры $+375$ (а), $+600$ (б), в относительных координатах (в)

Кумулятивная функция $F(x)$ является функцией случайной величины X , и определяется для x следующим образом:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt.$$

На рис. 2 представлені кумулятивні функції розподілення С для температур +375 °С (а) і +600 °С (б), а також в відносних координатах С/С₀. Здесь С₀ – середнє значення параметра С.

Полученные значения параметра уравнения Пэриса удовлетворительно описываются нормальным законом распределения (рис. 2), что подтверждается значением критерия Андерсона-Дарлинга (А-Д) [4]. Статистические и критические значения А-Д критерия приведены в таблице.

Таблица 3

Функция плотности распределения и значения ее параметров

| Тип распределения | Параметры распределения | | Функция плотности распределения | | | |
|---|---|------|--|------------------------|------------------------|-------------------|
| Нормальное | x_0 = параметр положения σ = параметр формы $x_0 \leq x < \infty, m > 0, \sigma > 0$ | | $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg C} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-x_0}{m}\right)^2\right] dz$ | | | |
| Критические и статистические значения А-Д критерия, значения параметров распределения и среднеквадратических отклонений | | | | | | |
| Температура испытаний, °С | АД | СВ | m | σ | X _{крит} | Y _{крит} |
| +375 | 0,39 | 0,75 | 9,38·10 ⁻¹¹ | 6,81·10 ⁻¹² | 8,56·10 ⁻¹³ | 0,025 |
| +600 | 0,17 | 0,75 | 7,45·10 ⁻⁹ | 6,09·10 ⁻¹⁰ | 5,62·10 ⁻¹¹ | 0,0141 |

ВЫВОДЫ

Исследованы основные закономерности влияния эксплуатационных температур на скорость РУТ в феррито-перлитной стали 25Х1М1Ф. Полученные кинетические диаграммы РУТ были использованы для статистической оценки распределения параметров уравнения Пэриса. Проведенный анализ показал, что полученные значения параметров уравнения Пэриса удовлетворительно описываются нормальным законом распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок / Ф. С. Домбровский, Л. К. Лецинский. – К.: Институт электросварки им. Е. О. Патона, 1995. – 198 с.
2. Estimation of in-service cracking of the surface of a continuous casting machine roller / P. Yashiy, Yu. Lapusta, P. Maruschak, D. Baran. // Proc. of XIII International Colloquium "Mechanical Fatigue of Metals" (September 25–28, 2006, Ternopil, Ukraine). – 2006. – P. 303–308.
3. Гонкало А. П., Чернявский А. А. Методика экспериментальных исследований циклической трещиностойкости материалов в изотермических условиях / А. П. Гонкало, А. А. Чернявский // Пробл. прочности. – 2005. – №2. – С. 151–158.
4. Shen W., Soboyejo A.B.O., Soboyejo W.O., Probabilistic modeling of fatigue crack growth in Ti-6Al-4V // International Journal of Fatigue. – 2001. – Vol. 23. – P. 917–925.
5. Al-Rubaie K. S., Godefroid L. B., Lopes J. A. M. Statistical modeling of fatigue crack growth rate in Inconel alloy 600 // International Journal of Fatigue. – 2007. – Vol. 29. – P. 931–940.
6. Yang Yong-yu, Liu Xin-wei, Yang Fan Stratified model for estimating fatigue crack growth rate of metallic materials // Applied Mathematics and Mechanics. – 2005. – Vol. 25. – P. 515–521.
7. Wang G. S. Intrinsic statistical characteristics of fatigue crack growth rate // Engineering Fracture Mechanics. – 1995. – Vol. 51. – P. 787–803.

Косенко А. Г., Борисенко Ю. Б., Данильченко Е. С., Медведев В. С. Разработка и исследование установки для электроискрового легирования // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Описана установка, повышающая производительность электроискрового легирования и улучшающая качество упрочняющих слоёв. Исследованы влияние режимов и длительности легирования на привес образца, а так же на шероховатость легированных поверхностей. Установлены оптимальные режимы упрочнения.

Макаренко Н. А., Грановский Н. А., Богуцкий А. А., Куций А. М. Плазменная наплавка разнополярным импульсным током // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Предложена установка для плазменной наплавки разнополярным импульсным током. Рассмотрены вопросы технологии наплавки износостойких, коррозионностойких сплавов на основе никеля и кобальта. Применение разнополярного импульсного тока при плазменной наплавке позволяет улучшить сцепление наплавленного металла с основным, повысить качество наплавленного металла, его эксплуатационные характеристики.

Маковецкий В. В., Маковецкий А. В. К систематизации форм поковок сложной пространственной конфигурации из титановых сплавов получаемых горячей штамповкой // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Приведен пример систематизации форм штампованных поковок на основе учета выделенных как топологических, так и массовых показателей поковки. Проведен анализ зависимости форм поковки от группы относительных показателей, характеризующих распределение массы и относительную протяженность.

Марущак П. О., Ясний О. П. Прогнозирование влияния эксплуатационных температур на трещиностойкость стали 25X1M1Ф // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Исследовали скорость роста усталостной трещины (РУТ) в стали 25X1M1Ф при комнатных и высоких температурах. Испытания проведены при постоянной амплитуде нагружения, при асимметрии цикла $R=0$ на компактных образцах. Кинетические диаграммы РУТ рассматривали как случайную переменную, с целью уменьшения погрешности оценки трещиностойкости. Два типа распределения использовали для описания данных РУТ. Статистический анализ показывает удовлетворительную аппроксимацию уравнения Пэриса нормальным законом распределения.

Медведев В. С., Аносов В. Л., Шпота С. А. Повышение эффективности систем инструментообеспечения автоматизированных участков // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Рассмотрена эффективность работы системы инструментообеспечения обрабатывающих центров в зависимости от интенсивности потоков обрабатываемых заготовок, характеристик потока отказов режущего инструмента, а также от технических параметров роботов, обслуживающих обрабатывающие центры. Разработана имитационная модель работы системы инструментообеспечения. Даны рекомендации по выбору параметров эффективной работы обслуживающих систем, обеспечивающих минимизацию недополученной прибыли.

Мироненко Е. В., Гузенко В. С., Ковалёв Д. Г. Исследование прочности инструмента для тяжелых токарных станков // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Рассматриваются новые конструкции модульных резцов для тяжелых токарных станков. Рассматриваются вопросы выбора рациональных параметров резцов и была исследована прочность инструмента методом конечных элементов.

Панчук В. Г. Методика расчета силы резания при отрезании фрезой // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Разработана методика расчета теоретических значений составляющих силы резания при фрезеровании отрезными фрезами произвольной конструкции. Принятая в качестве базовой модель фрезы включает в себя конструкции с подрезающими кромками, с разнонаправленными зубьями, с переменным шагом зубьев и др. Приведенная методика базируется на современных положениях теории резания пластических материалов и ориентирована на машинную реализацию в специализированных программных комплексах для теоретических исследований влияния на силы резания конструктивных параметров отрезных фрез и режимов механической обработки.

Периг А. В., Лаптев А. М., Подлесный С. В. Использование метода верхней оценки для анализа процесса равноканального углового прессования // Вестник ДГМА. – 2008. – №1 (11).

Методом жестких блоков определены относительное давление прессования и суммарная угловая деформация при равноканальном угловом прессовании (РКУП) идеально-пластичного и упрочняющегося металла в непрямоугольном штампе. Разработана методика выбора оптимальной верхней оценки для упрочняющегося материала в соответствии со степенной аппроксимацией второго типа. Выполнены оценки влияния упрочнения металла на давление прессования и геометрические параметры застойной зоны. Полученные данные для неупрочняющегося материала сопоставлены с решением по методу линий скольжения. Было найдено хорошее соответствие между ними.