ISSN 1994-6309

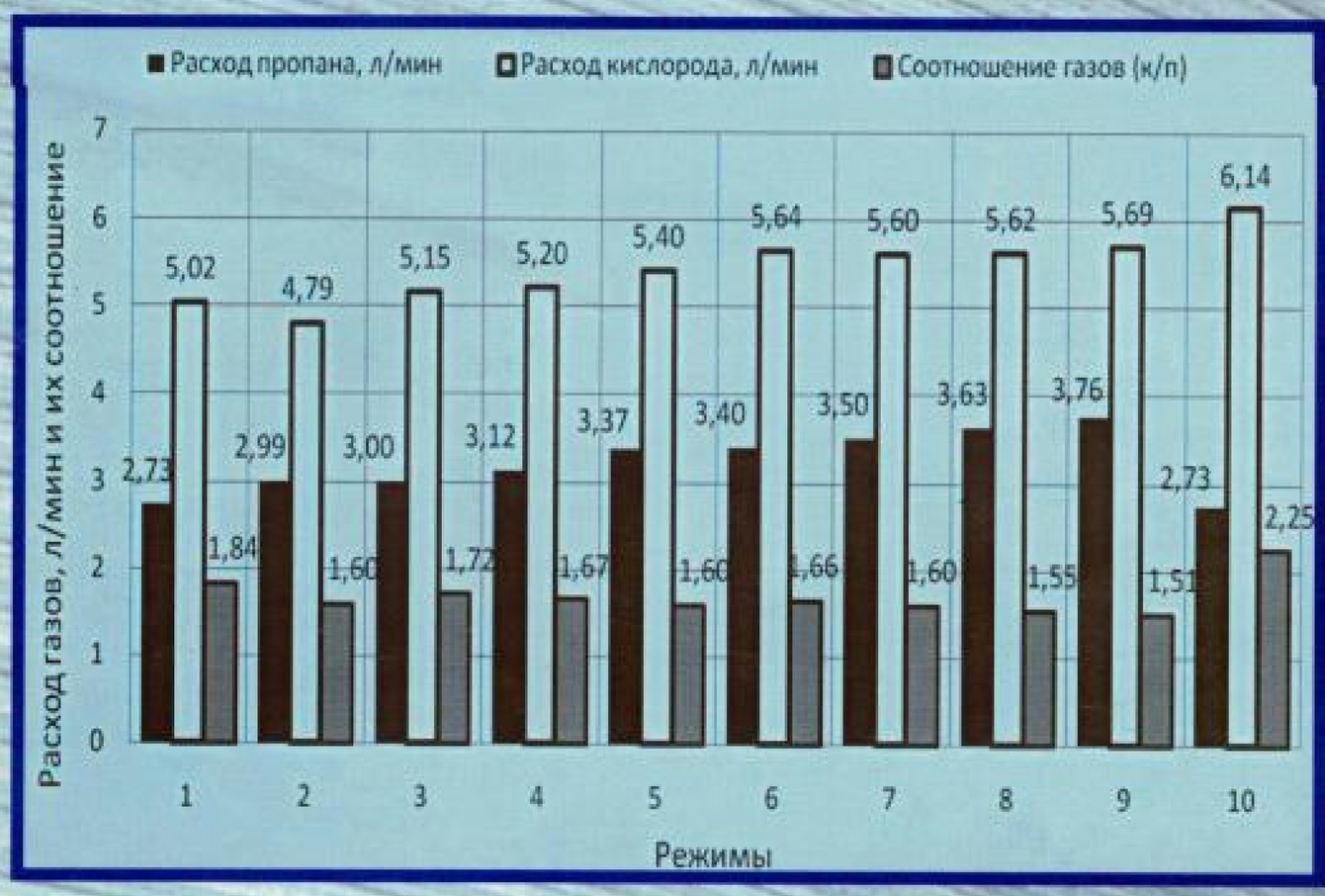
Обработка металлов

технология • оборудование инструменты

научно-технический и производственный журнал

№ 1(38)/2008

Технология
Инструмент
Виброустойчивость систем
Экология
Моделирование



Режимы работы автоматической газорегулирующей установки ...

(см стр. 10)

НОВОСИБИРСК • 2008

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ • ОБОРУДОВАНИЕ • ИНСТРУМЕНТЫ

СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ ПИ ФС77-23961. Выходит с 1999 г.
Учредители: ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», ГОУ ВПО НГТУ, ООО НПКФ «Машсервисприбор».
Тираж – 1000 экз., формат А-4, периодичность – 4 номера в год.

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий РФ, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодически и продолжающимся изданиям «Ulrich`s Periodicals Directory»

ISSN регистратор как: ISSN 1994-6309. Название: Obrabotka metallov

АДРЕСОВАН специалистам промышленных производств, научным работникам НИИ и проектных организаций, аспирантам, преподавателям и профессорам высшей школы, рационализаторам и изобретателям.

ПУБЛИКУЮТСЯ сведения о прогрессивных инструментах, авангардных технологиях, современном оборудовании для металлообработки, проблемах экономики и организации производства.

РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ на выставках, конференциях и по адресной почтовой рассылке на предприятия и организации России и стран СНГ, а также по подписке через редакцию и через Роспечать.

Подписной индекс Роспечати на журнал «ОМ»
70590

Адрес редакции:
630087, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 30
НПТ и ЭИ"Оргстанкинпром"
тел.: (383) 346-37-77, тел./факс 346-39-11
E-mail: ostp@sibproject.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:
Пискунов А.А., ген. директор ОАО НПТ и ЭИ «Орг-станкинпром», член-корр. Международной Академии науковедения, доцент – сопредседатель совета.
Пустовой Н.В., ректор НГТУ, профессор, д.т.н. – сопредседатель совета.
Анисименко Г.Е., директор производственно-технологической фирмы «Сигма-инструмент»; **Афанасьев В.К.,** академик РАЕ, профессор, д.т.н., СибГИУ; **Балков В.П.,** зам. ген. директора АО «ВНИИинструмент», к.т.н.; **Батаев А.А.,** профессор, д.т.н., НГТУ; **Буров В.Г.,** профессор, к.т.н., НГТУ; **Герасенко А.Н.,** директор ООО НПКФ «Маш-сервисприбор»; **Голубев Ю.М.,** директор ООО «Инструмент для автосервиса», доцент, к. т. н.; **Кирсанов СВ.,** профессор, д.т.н., ТПУ; **Коган Б.И.,** член-корр. РАЕН, профессор, д.т.н., КузГТУ; **Коротков А.Н.,** академик РАЕ, профессор, д.т.н., КузГТУ; **Кудряшов Е.А.,** профессор, д.т.н., ЧитГТУ; **Морозов Б.В.,** советник ген. директора ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», к.т.н.; **Овчаренко А.Г.,** профессор, д.т.н., БТИ АлтГТУ; **Рахимянов Х.М.,** профессор, д.т.н., НГТУ, **Сараев Ю.Н.,** профессор, д.т.н., ИФПМ СО РАН; **Смольников Н.Я.,** профессор, д.т.н., ВолгГТУ; **Суслов А.Г.,** профессор, д.т.н., Засл. деятель науки и техники РФ, БрянГТУ – члены совета.

ИЗДАТЕЛИ:
ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром»
Новосибирский государственный технический университет

Главный редактор	МОРОЗОВ Б.В.
Зам. главного редактора	ГЕРАСЕНКО А.Н.
Зам. главного редактора	АТАПИН В.Г.
Вёрстка и дизайн	ХИСМАТУЛИН О.И.
Корректура	ВЕТЧАКОВА Л.Н.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в рекламных материалах. Необходимые сертификаты и лицензии обеспечиваются рекламодателями.
Полная или частичная перепечатка материалов, опубликованных в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции. Ссылка на журнал обязательна.
Мнение авторов публикаций может не совпадать с мнением редакции. Оригиналы статей не возвращаются.

Отпечатано в типографии ООО «Альянс»
Подписано в печать 20.03.2008 г.
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ:

Технология

С.Л. ЛЕОНОВ. Обеспечение требуемого микрорельефа поверхности при абразивной обработке основы для нанесения покрытий 4

М.В. РАДЧЕНКО, Д.П. ЧЕПРАСОВ, Ю.О. ШЕВЦОВ, А.А. ИВАНАЙСКИЙ, А.П. БОРИСОВ, М.Н. СЕЙДУРОВ, П.С. ЧЕРЕМИСИН. Исследование процессов сварки и наплавки с использованием современной методики сбора и обработки экспериментальных данных 7

А.С. АНАНЬЕВ, В.П. СЕРОВ. Исследование процесса нарезания резьбы метчиком 11

В.И. ОДИНОКОВ, Н.С. ЛОВИЗИН. Двухручьевой литейно-ковочный модуль горизонтального типа для производства непрерывнолитых деформированных заготовок из цветных сплавов 12

В.Н. БЕЛЯЕВ, А.В. ФРОЛОВ, И.С. ЛАРИОНОВА. Композиционные никель-алмазные покрытия 14

А.В. БАЛАШОВ. Проектирование технологических процессов изготовления нежестких деталей 16

А.В. ВАЛЬТЕР. Программное обеспечение автоматизированного анализа кинематики процесса резания 18

А.И. СМИРНОВ. Влияние дефектов структуры различного уровня на циклическую трещиностойкость углеродистых сталей 22

Д.В. ТУЛУЛПОВ, А.Н. РОМАШЕВ. Применение нейронных сетей для оптимизации маршрутной технологии 24

А.Г. ТЮРИН, Н.В. ПЛОТНИКОВА, В.Г. БУРОВ, С.В. ВЕСЕЛОВ, Е.Д. ГОЛОВИН. Влияние поверхностного упрочнения на показатели циклической трещиностойкости 25

Инструмент

Д.Б. ШАТЬКО. Исследование эксплуатационных характеристик экспериментальных лепестковых кругов 28

Виброустойчивость систем

А.М. МЕДВЕДЕВ, Г.В. ЛИТОВКА. О частотном диапазоне диффузионности вибрационных полей металлорежущих станков ...30

В.М. СВИНИН. Виброустойчивая торцовая фреза для работы с модулированной скоростью резания 33

Экология

ПРЕСС-СЛУЖБА КОМПАНИИ RUUKKI. Эколгия металлургии 34

Моделирование

В.В. СМИРНОВ. Моделирование контакта режущего и обрабатываемого материала 36

Журнал зарегистрирован 05.04.2006 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-23961. **Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включён в перечень ведущих журналов и изданий РФ, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. (Редакция июль 2007 г).)**
Журнал включён в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Подписка осуществляется через редакцию

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 630087, г. Новосибирск – 87, пр. К.Маркса, 30, ОАО НПТ и ЭИ «ОРГСТАНКИНПРОМ»
Тел.: (383) **346-37-77**, тел./факс: **346-39-11** E-mail: ostp@sibproject.ru

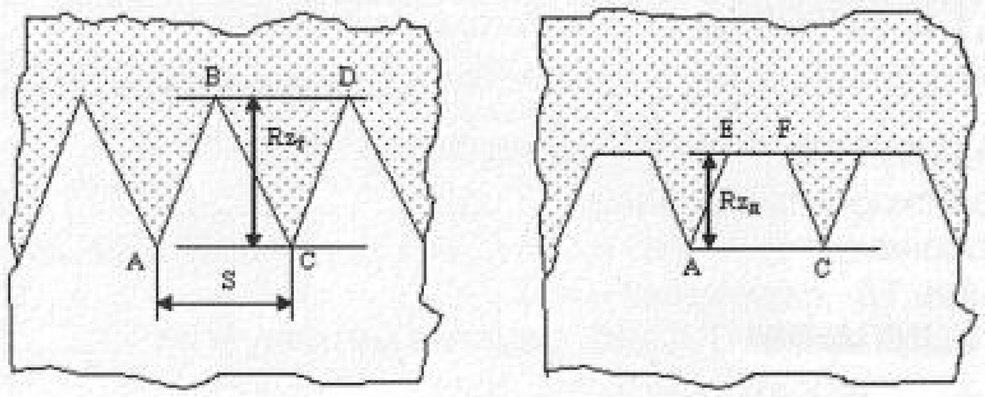
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ОСНОВЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

С.Л. ЛЕОНОВ, канд.техн.наук, профессор, АлтГТУ, г.Барнаул

Процессы абразивной обработки являются одними из самых распространенных методов финишной обработки поверхностей. Среди них наиболее часто на производстве применяются операции шлифования, которые используется как для обработки цилиндрических, так и плоских поверхностей. Шлифование позволяет обрабатывать материалы практически любых физико-механических свойств, обеспечивая получение высокой точности и низкой шероховатости поверхности.

Шлифование дает возможность получать развитый микрорельеф обрабатываемой поверхности, обеспечивающий значительную ее площадь. Данный факт оказывает значительное влияние на свойства поверхности. Особенно это важно при подготовке поверхностей под нанесение покрытий. Связано это с тем, что для повышения прочности контакта основы с покрытием и предотвращения его отслаивания необходимо увеличивать площадь контакта. В то же время для экономии наносимого материала требуется уменьшать его объем, размещаемый в пределах глубины рисок шероховатости. Для этого используют специальные методы подготовки поверхности, представляющие иногда маршрут состоит из нескольких операций механической обработки.

Рассмотрим маршрут, включающий операции точения и шлифования. Пренебрегая субмикрорельефом, обработанную точением поверхность можно рассматривать как состоящую из треугольных рисок (рис.1, *а*). Высота этих рисок – $R_{zт}$. Если на следующей шлифовальной операции глубина резания меньше $R_{zт}$, то риски близки к трапецеидальным, рис. 1, *б* (микрорельефом после абразивной обработки для упрощения пренебрегаем).



а *б*

Рис. 1. Форма рисок после точения (а) и последующего шлифования (б)

Для операции точения длина профиля отдельной риски $L_т$ состоит из двух прямолинейных отрезков *AB* и *BC* – боковых сторон треугольника. Относительная длина профиля риски при этом составляет

$$\frac{L_т}{S} = \sqrt{1 - 4\frac{Rz_т^2}{S^2}}\ .$$

Длина риски после шлифования приближенно можно представить с помощью трех отрезков: *AE, EF* и *FC*. Относительная длина профиля после шлифования составляет:

$$\frac{L_ш}{S} = \frac{Rz_д}{Rz_т}\sqrt{1 - 4\frac{Rz_т^2}{S^2}} + 1 - \frac{Rz_д}{Rz_т}$$

В связи с тем, что треугольники *ABC* и *BCD* равны, относительная площадь сечения материала покрытия, размещенного в рисках шероховатости после точения (рис. 1, *а*), составляет

$$\frac{S_т}{Rz_т S} = 0{,}5\ .$$

После шлифования материал покрытия размещается в рисках треугольного профиля (рис. 1, *б*) с относительной площадью сечения

$$\frac{S_ш}{Rz_т S} = 0{,}5\left(\frac{Rz_д}{Rz_т}\right)^2\ .$$

На рис. 2 приведены графики зависимостей $L_т/L_ш$ и $S_т/S_ш$ в зависимости от изменения $R_{zд}/R_{zт}$. Кривые получены при $R_{zт}/S = 0{,}5$. Для других значений $R_{zт}/S$ характер графиков аналогичен. Из анализа этих зависимостей можно сделать вывод, что радиальный съем металла на шлифовальной операции сильно влияет на объем покрытия, размещаемого в рисках шероховатости. На площадь контакта влияние съема металла значительно меньше.

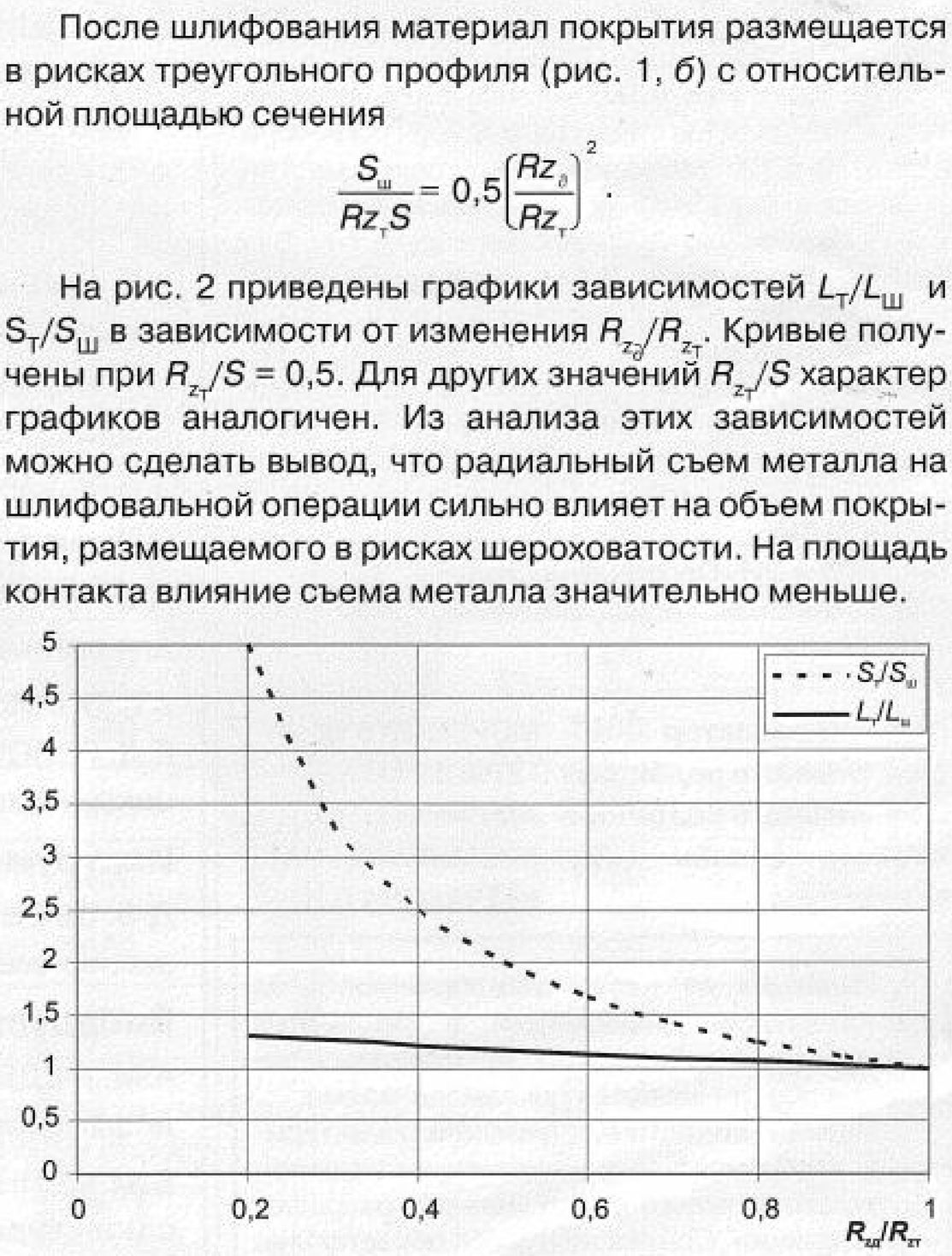


Рис. 2. Относительная площадь и длина контакта покрытия с основой

Приведенный пример показывает, что формирование маршрутов обработки может значительно уменьшить расход материала покрытия без существенного снижения эксплуатационных свойств готовых деталей. В полученных зависимостях не учитывается микрорельеф поверхности после абразивной обработки, который может давать существенный вклад в рассчитанную длину контакта покрытия с основой. Для практического использования необходимо прогнозировать шероховатость обработанной поверхности после абразивной обработки.

Для круглого врезного шлифования геометрия зоны контакта шлифовального круга и заготовки представляет пересечение сегментов, представленных на рис. 3. В этой зоне происходит съем металла абразивными зернами. Фактическая глубина резания $t_ф$ определяется режимом резания из уравнения баланса перемещений:

$$t_{фi} = t_{фi} + S_i - \Delta R_i - \Delta r_i - 1 - \Delta y_{упр}. \quad (1)$$

На *i*-м обороте заготовки фактическая глубина резания увеличивается за счет подачи на оборот Si, и уменьшается за счет износа круга ΔR_i, упругих отжатий $\Delta y_{упр}$ и съема металла на предыдущем обороте Δr_{i-1}. На первом обороте $t_{ф1} = S_1 - \Delta R_1 - \Delta y_{упр}$.

Износ круга ΔR_i и величина упругих отжатий $\Delta y_{упр}$ зависят от фактической глубины резания на этом же обороте. Определение $t_{фi}$ из уравнения (1) осуществляется с использованием численного метода. В первом приближении можно считать, что износ круга и упругие отжатия пропорциональны глубине резания: $\Delta R = K_R T_ф$; $\Delta y_{упр} = K_y t_ф$. При этом фактическую глубину резания можно выразить из уравнения (1) аналитически:

$$t_{фi} = \frac{t_{фi-1} + S_i - \Delta r_{i-1}}{1 + K_R + K_y}$$

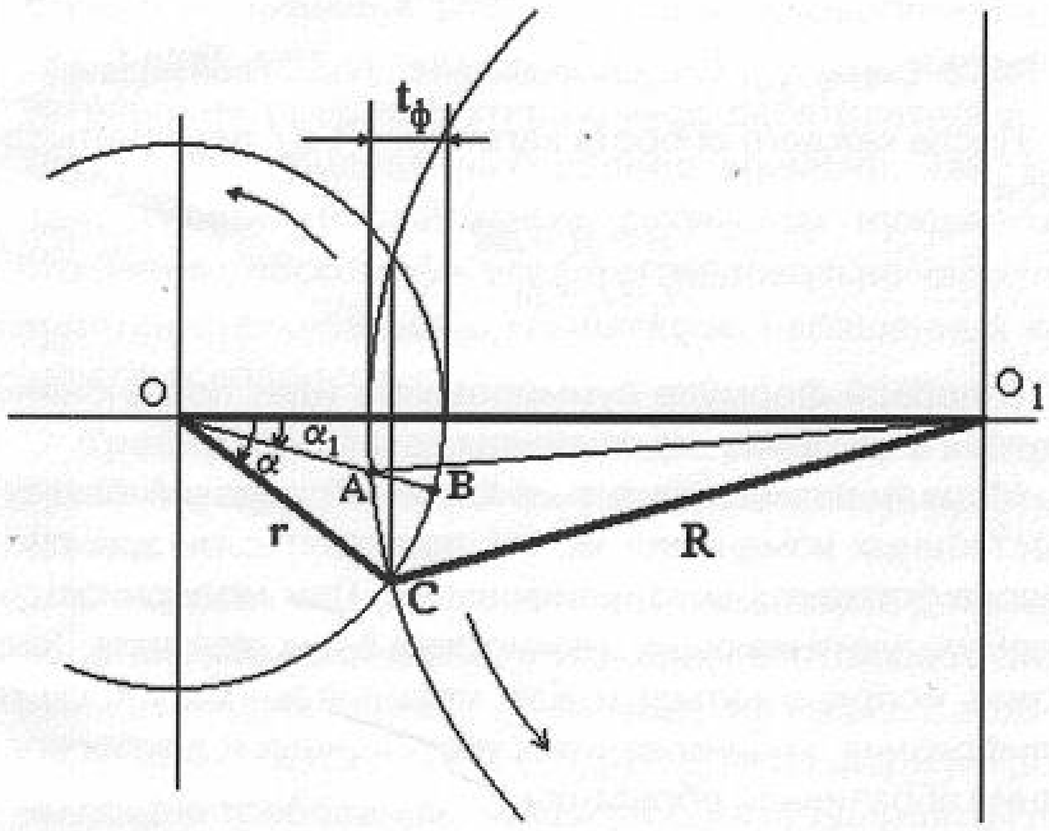


Рис. 3. Зона контакта шлифовального круга и заготовки.

Высота зоны контакта характеризуется углом α, который определяется из треугольника OCO_1:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{t_ф R}{r(R+r)}. \quad (2)$$

При прохождении зерном зоны контакта глубина резания изменяется. Для текущего положения α_1 глубина резания (*AB*) определяется выражением:

$$t = \frac{t_{max}}{1-\cos\alpha} \times (\cos\alpha_1 - \cos\alpha). \quad (3)$$

Для зерен, расположенных на поверхности круга, $t_{max} = t_ф$ и величина *t* совпадает с отрезком *AB*.

Абразивные зерна имеют случайное расположение по поверхности и глубине шлифовального круга. При этом за время прохождения участком заготовки *AB* зоны контакта через него пройдет *N* зерен, каждое из которых имеет свое значение максимальной глубины t_{max}, где $0 \le tmax \le t_ф$. Глубина резания t_{max} является случайной величиной, распределенной по усеченному нормальному закону. Угловое положение α_1 сечения *AB* в момент пересечения его абразивным зерном также случайно с равномерным распределением α_1 на интервале $[-\alpha; +\alpha]$. Текущая глубина резания зерном рассчитывается по формулам (2), (3). Расположение зерна по поверхности инструмента также является случайным с равномерным распределением координаты вершины зерна в пределах базовой длины.

В разработанной стохастической имитационной модели формирования поверхности при абразивной обработке профили зерен описываются окружностями с радиусами ρ, равными радиусам при их вершине. Параметр ρ также является случайным с нормальным распределением на интервале $[\rho_{min}; \rho_{max}]$. Предельные значения радиусов при вершине зерна определяются зернистостью шлифовального круга и режимами его правки [1].

На рис. 4 приведен пример вырезания профиля зерна из профиля поверхности заготовки. Зерно имеет случайный радиус ρ, случайное расположение на поверхности круга x и глубину резания *t*, вычисляемую по формуле (3) при случайных α_1 и t_{max}. Процесс формирования риски можно уточнить с использованием коэффициента стружкообразования [2, 3]. Для учета пластических деформаций обрабатываемого материала используется сглаживание, например, по методу скользящего среднего.

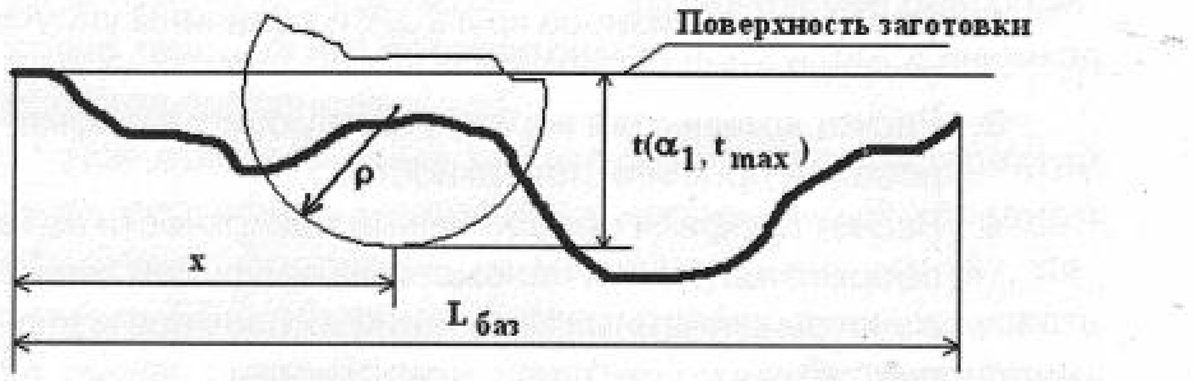


Рис. 4. Вырезание профиля зерна из профиля поверхности заготовки.

Количество зерен *N*, проходящих через сечение заготовки *AB* (рис. 3) за ее оборот, определяется характеристикой абразивного инструмента и режимом резания [3]:

$$N = \left[\frac{6 U_к f_{зерен}}{\pi d^3_{зерен} 100\,\%} K_{прав} \right], \quad (4)$$

где: $U_к$ – объем рабочей части круга, прошедьшей через сечение АВ:

$$U_к = 2r \left(1 + \frac{V_к}{V_и}\right) L_{баз} t_ф \sin\alpha;$$

$f_{зерен}$ – объемное содержание абразивных зерен в круге (%); $d_{зерен}$ – средний размер зерна, определяемый зернистостью круга (мм); $K_{прав}$ – коэффициент, учитывающий правку круга; [...] – вычисление целой части.

Съем металла рассчитывается по изменению максимального радиуса-вектора заготовки – координаты профиля. На рис. 5 приведены результаты расчета профилей для двух последовательных оборотов заготовки. Следует обратить внимание, что фактическая глубина резания $t_ф$ не только больше съема металла Δr, но может быть больше даже суммы $\Delta r + R_{max}$. Связано это с тем, что среди ограниченного количества зерен *N* в пределах базовой длины с точки зрения теории вероятности может не оказаться зерна, расположенного точно на поверхности круга и имеющего глубину резания $t_ф$. Поэтому соотношение $t_ф = \Delta r + R_{max}$ выполняется только при больших значениях базовой длины $L_{баз}$.

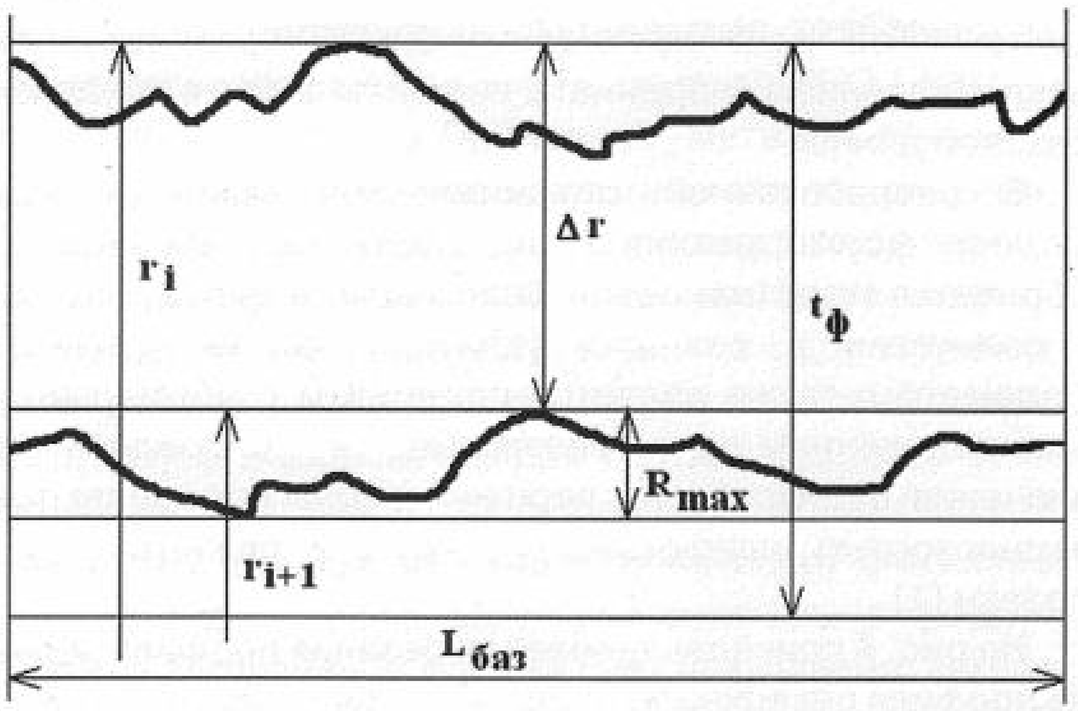


Рис. 5. Схема определения радиального съема металла

Алгоритм стохастического моделирования формирования шероховатости для каждого оборота заготовки заключается в следующем.

1. Решение уравнения баланса перемещений и определение фактической глубины резания $t_{фi}$.
2. Определение износа круга ΔR_i и величины упругих отжатий $\Delta y_{упр}$.
3. Расчет количества зерен, участвующих в формировании профиля поверхности.
4. Расчет профиля обработанной поверхности на i-м обороте заготовки наложением профилей зерен с учетом случайных колебаний их размера и расположения по глубине и поверхности.
5. Сглаживание профиля для учета пластических деформаций материала заготовки.
6. Расчет съема металла.

Предлагаемый алгоритм позволяет рассчитывать реализацию профиля поверхности и радиальный съем металла на каждом обороте заготовки. Для вычисления параметров шероховатости используют формулы из ГОСТ 2789-73. Например, среднее арифметическое отклонение неровностей профиля рассчитывается по выражению

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - w| , \qquad (5)$$

где средняя линия профиля $w = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$; y_i – координаты профиля, рассчитанные по приведенному алгоритму (i=1...n).

При необходимости за счет многократных расчетов можно получить гистограмму распределения параметров шероховатости, по которой рассчитывается не только среднее значение любого из параметров, но и его дисперсия, характеризующая разброс относительно среднего значения.

Предложенная модель позволяет прогнозировать шероховатость поверхности при врезном шлифовании на каждом обороте заготовки. Для моделирования операций шлифования с продольной подачей используются те же зависимости, но уравнение баланса перемещений (1) преобразуется в систему уравнений. На рис. 6 изображена схема круглого шлифования с продольной подачей. Размерные связи выражаются системой уравнений:

$$t_{фi} = A - (R_i - \mathrm{D}R_i) - r_i ,$$
$$A = A_{ном} - \Delta y_{упр} , \qquad (6)$$
$$\Delta y_{упр} = \frac{P_{y\Sigma}}{C} = \frac{1}{C}\int_0^B P_y(t_ф(l))dl \approx \frac{S_{прод}}{C}\sum_{i=1}^{m-1} P_y(t_{фi}).$$

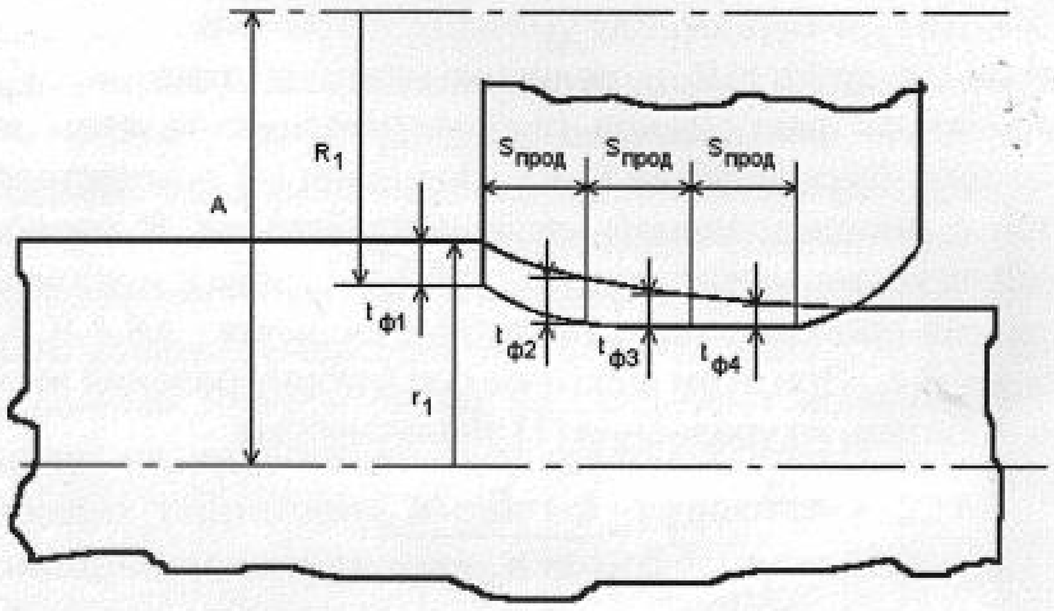


Рис.6. Схема круглого шлифования с продольной подачей

После каждого оборота заготовки R_i и r_j пересчитываются:

$$R_i = R_i - \Delta R_i ,$$
$$r_i = r_i - \Delta r_i .$$

В первой формуле суммирование идет по сечениям круга, а во второй – по сечениям детали.

Модель шлифования с продольной подачей без существенных изменений может применяться и для процессов бесцентрового шлифования. При модернизации формул, учитывающих геометрию зоны контакта, она может использоваться и для моделирования плоского шлифования, хонингования, суперфиниша и других операций абразивной обработки.

Рассчитанные профили поверхности детали позволяют уточнить зависимости для управления процессом подготовки основы под нанесение покрытий. Для профиля поверхности y(l) длина контакта покрытия с основой определяется по формуле

$$L = \int_0^{L_{баз}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2}\, dl , \qquad (7)$$

где $L_{баз}$ – базовая длина.

Для обеспечения эксплуатационных свойств детали с покрытием требуется выполнение неравенства $L \geq L_{доп}$.

Площадь сечения покрытия, размещенного между рисками шероховатости основы, рассчитывается по выражению

$$S_{сп} = \int_0^{L_{баз}} (y_{max} - y(l))dl . \qquad (8)$$

Из соображений экономии материала покрытия требуется min $S_{сп}$.

При подготовке основы только шлифованием расчет $y(l)$ производится по приведенным алгоритмам. При использовании маршрута обработки, включающего в себя несколько технологических операций, необходимо учитывать явления неполной обработки профиля, аналогичные приведенным на рис. 1. При проектировании технологического процесса подготовки основы под нане-

сение покрытия параметры технологического процесса (маршрут обработки, режимы резания, характеристики и параметры инструментов) выбираются из условий обеспечения заданных значений критериев (7) и (8).

На программное обеспечение для реализации имитационной стохастической модели получено свидетельство об официальной регистрации [4]. Эксплуатация программного обеспечения показала его эффективность при проектировании операций абразивной обработки.

Список литературы

1. *Королев А. В.* Прогрессивные процессы правки шлифовальных кругов /А.В. Королев, Р.А. Березняк. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1984. – 112 с.

2. *Кулагин С.П.* Технологическое обеспечение качества изготовления деталей с износостойкими покрытиями /С.П. Кулагин, С.Л. Леонов, Ю.К. Новоселов, Е.Ю. Татаркин. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. –209 с.

3. *Леонов С.Л.* Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С.Л. Леонов, А.Т. Зиновьев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. –198 с.

4. *Расчет* профилограммы поверхности при бесцентровом шлифовании (Profil). Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611994. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 8 августа 2005 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ МЕТОДИКИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

М.В. РАДЧЕНКО, профессор, доктор техн. наук, Д.П. ЧЕПРАСОВ, профессор, канд. техн. наук, Ю.О. ШЕВЦОВ, профессор, канд. техн. наук, А.А. ИВАНАЙСКИЙ, ст. преп., канд. техн. наук, А.П. БОРИСОВ, асп., М. Н. СЕЙДУРОВ, асп., П.С. ЧЕРЕМИСИН, асп., АлтГТУ им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В настоящее время при разработке технологии сварки и родственных процессов широкое применение находят прогрессивные методы исследований с текущей регистрацией экспериментальных данных при помощи ПЭВМ и прикладных программных продуктов совместно с компьютерным моделированием.

Становится очевидным, что использование технических возможностей современной компьютерной техники и программ способствует получению оптимальных технологических решений при существенном снижении ресурсоемкости самого процесса разработки. Развитие программных средств сбора и обработки данных, а также моделирование сварочных процессов в последние десятилетия привело к развитию новой области знаний – компьютерным технологиям в сварочном производстве [1].

Местное воздействие на изделие сварочными источниками тепла, как известно, сопровождается неравномерным нагревом металла, его расширением и упругопластическими деформациями, которые приводят к образованию сварочных деформаций и напряжений [2]. Таким образом, регистрация изменения температуры наряду с измерениями параметров напряженно-деформированного состояния точки тела изделия (образца) во времени является неотъемлемой частью экспериментальных исследований при разработке новых технологий в области сварочного производства.

Сбор и обработка данных происходит по принципиальной блок-схеме, предложенной авторами (рис. 1). Измерение и регистрация температуры может выполняться комплексом сбора и обработки данных с помощью измерителя-регулятора «ОВЕН ТРМ 202 v2.025», выступающего в роли системы сбора данных, что позволяет измерять температуру с точностью ±1 °С. Кроме того, рассматриваемый измеритель-регулятор имеет существенное преимущество – температурную компенсацию «холодного» спая [4].

В качестве блока датчиков измерения температуры обычно применяются, в зависимости от максимальной температуры нагрева, хромель-алюмелевые термопары диаметром от 0,15 мм (до 1350 °С) и платина-платинородиевые диаметром от 0,2 мм (до 1450 °С и более).

С помощью стандартного встроенного интерфейса программирования (блок настройки измерения) производится настройка системы сбора данных на работу с выбранным типом термопар, а также настройка обмена информации (блок настройки обмена) между измерителем-регулятором «ОВЕН ТРМ 202 v2.025» и системным блоком ПЭВМ по протоколу RS-485.

С помощью конвертора интерфейсов RS232-RS485 производится обмен данными между измерителем-регулятором «ОВЕН ТРМ 202 v2.025» и компьютером. Для управления измерителем-регулятором и регистрации изменения температуры точки тела изделия (образца) во времени удобно, в частности, использовать среду «MasterSCADA» и аналогичные ей прикладные программные продукты.

Программа «MasterSCADA» генерирует запрос каждую секунду. Измеритель-регулятор «ОВЕН ТРМ 202 v2.025» по этому запросу выдает текущее значение измеряемой температуры по каждому из двух каналов. Таким образом, удается получить несколько сотен точек измерения в течение всего термоцикла. По мере поступления данных от измерителя-регулятора программа «MasterSCADA» строит график изменения температуры точки тела изделия (образца) в зависимости от текущего системного времени компьютера.

Одним из примеров практического применения предложенной методики сбора и обработки данных (рис. 1) с использованием в качестве системы сбора данных измерителя-регулятора «ОВЕН ТРМ 202 v2.025» и программы «MasterSCADA» для его управления и регистрации изменения температуры точки тела изделия (образца) во времени является разработка сварки плавлением высокопрочных сталей бейнитного класса [4] на основе определения влияния термодеформационного цикла сварки (ТДЦС).

Рис. 1. Блок-схема комплекса сбора и обработки данных

Работа проводилась с целью установления зависимостей, учитывающих структурные превращения и развитие локальных пластических деформаций в стали 24Х2НАч, предназначенной для изготовления тяжелонагруженных деталей и сварных конструкций ответственного назначения, работающих в климатических условиях Сибири и Крайнего Севера, главным образом, для буровой техники.

Стыковые сварные соединения выполняли из стали 24Х2НАч (горячекатаный прокат толщиной 6 мм) следующего химического состава (%): 0,28 C; 1,39 Cr; 1,48 Ni; 0,31 Mn; 0,27 Si; 0,045 РЗМ; 0,021 S; 0,012 P.

Однопроходную автоматическую сварку под флюсом АН-47 на флюсовой подушке выполняли сварочным трактором ТС-17 за один проход сварочной проволокой Св-08ХНМ диаметром 4 мм. Термические циклы регистрировались хромель-алюмелевыми термопарами диаметром 0,24 мм по 4 шт. от оси шва с каждой стороны свариваемых пластин, приваренных на расстоянии 0,5 мм друг от друга. С помощью указанного оборудования и программного обеспечения обрабатывалась информация и записывались полные кривые нагрева и охлаждения. По точкам перегиба определялась температура начала и конца распада аустенита. Далее рассчитывалась средняя скорость охлаждения в диапазоне температур наименьшей устойчивости аустенита (600...500 °С) $\omega_{6/5}$, которую изменяли погонной энергией сварки [2, 5].

Моделирование ТДЦС в отдельных микрообъемах соединения значительно облегчает изучение особенностей поведения металла при сварке, поэтому исследовать процессы ТДЦС можно как на сварном соединении, так и на образцах с их моделированием [6, 7].

Для изучения закономерностей развития напряжений при $\gamma \rightarrow \alpha$-превращении была изготовлена экспериментальная установка для моделирования ТДЦС на базе разрывной машины Р-20, обеспечивающая реализацию условий воздействия ТДЦС на металл при испытании жесткозакрепленных экспериментальных образцов. Обработка образца по режиму ТДЦС осуществлялась посредством пропускания электрического тока от источника питания через токоподводы. Температура нагрева и охлаждения рабочей части образца контролировалась блоком приваренных хромель-алюмелевых термопар с помощью того же метода и комплекса сбора и обработки данных, что и при сварке. Средняя скорость охлаждения в диапазоне температур наименьшей устойчивости аустенита (600...500 °С) $\omega_{6/5}$ рассчитывалась указанным выше способом. Условия охлаждения изменяли путем интенсивного обдува нагретой части образца охлаждающим защитным газом (аргоном). Максимальная температура нагрева образца 1200 °С.

Данные о развитии напряжений в образце при испытании получали при помощи системы тензодатчиков сопротивления, расположенных непосредственно на неподвижном спецзахвате с передачей результатов на компьютер, согласно схеме рис. 1, в среде программы «MasterSCADA».

Характерные кривые изменения температуры при охлаждении и напряжений в образцах представлены на рис. 2.

Рис. 2. Кривая изменения температуры и кинетика развития напряжений в жесткозакрепленном образце при охлаждении по термодеформационному циклу сварки

На рис. 2 обозначены параметры, которые анализировались в процессе испытания образцов. Зависимость изменения температуры во времени позволяет найти температуру начала ($T_{П1}$) и конца ($T_{П2}$) $\gamma\rightarrow\alpha$-превращения. Кинетику развития напряжений растяжения в жесткозакрепленном образце в процессе его охлаждения определяли по следующим показателям: напряжению начала разупрочнения $\sigma_{р.н.}$, напряжению в конце разупрочнения $\sigma_{р.к.}$, величине остаточных напряжений $\sigma_{ост.}$ при остывании образца до комнатной температуры; периоду разупрочнения $t_р$, определяемому по кривой развития напряжений, соответствуют температуры начала и конца разупрочнения $T_{р.н.}$ и $T_{р.к.}$, отличные от температур $\gamma\rightarrow\alpha$-превращения, определяемых по перегибам температурной кривой. По кривым развития напряжений в жесткозакрепленных образцах можно также определить максимальную скорость релаксации напряжений при фазовом разупрочнении ν_p^{max}, а также скорость нарастания напряжений в период упрочнения после фазового разупрочнения ν_{1n}.

Из графика видно, что пластическая деформация развивается интенсивно при фазовом разупрочнении, характеризующем условия начала и развития релаксации напряжений в жесткозакрепленных образцах при имитации ТДЦС. Высокие скорости релаксации напряжений и, следовательно, развития пластических деформаций при смещении процесса разупрочнения в область более низких температур (образцы с обдувом, $\omega_{6/5}$ = 5,2 °С/с) свидетельствуют об интенсивном развитии микропластических деформаций по границам аустенитных зерен. Такой характер развития микропластических деформаций способствует затруднению перестройки зерен при совместной пластической деформации и приводит к нарушению строения границ, т. е. к образованию очагов замедленного разрушения [8].

Таким образом, методика исследования жесткозакрепленных образцов, испытанных в условиях термодеформационного цикла сварки, дает возможность производить оценку свариваемости низкоуглеродистых низколегированных сталей бейнитного класса в зависимости от их исходной структуры по следующим критериям: величине напряжений начала разупрочнения $\sigma_{р.н.}$, релаксационному показателю $\Delta\sigma = \sigma_{р.н.} - \sigma_{р.к.}$ и скорости релаксации напряжений ν_p^{max}.

Преимущество этих критериев состоит в том, что они дают возможность анализировать механизм зарождения и развития холодных трещин с учетом различных факторов, а также достаточно четко оценивать чувствительность сталей к образованию холодных трещин.

Другим примером практического применения предложенной методики сбора и обработки данных, с использованием в качестве системы сбора данных измерителя-регулятора «ОВЕН ТРМ 202 v2.025» и программы «MasterSCADA» для его управления и регистрации изменения температуры точки тела изделия (образца) во времени, является разработка технологии сверхзвуковой газопламенной наплавки (СГП-наплавки) [9, 10].

Работа проводилась с целью определения влияния расхода и соотношения газов (пропана и кислорода) на распределение температурных полей в зоне термического влияния (ЗТВ) под воздействием сверхзвуковой газовой струи, а также зависимости мощности газовой струи от режимов работы автоматической газорегулирующей установки с экспериментальным сверхзвуковым соплом. Газорегулирующая установка .предназначена для управления тепловой мощностью сверхзвуковой газовой струи, используемой для наплавки. В качестве экспериментального образца использовалась пластина из стали В Ст 3сп размерами 120х120х4 мм, следующего химического состава (%): 0,17 C; 0,18 Cr; 0,17 Ni; 0,52 Mn; 0,18 Si; 0,01 S; 0,01 P.

В качестве блока датчиков измерения температуры использовались две хромель-алюмелевые термопары диаметром 0,8 мм, спаи которых зачеканивались в просверленные отверстия в центр экспериментального образца и на расстоянии 10...12 мм от центра.

Нагрев пластины сверхзвуковой газовой струей проводился при вертикальном положении в течение 37 с (время, в течение которого температура поверхностного слоя металла образца достигала 1300 °С на режиме с максимальной мощностью сверхзвуковой струи). После этого воздействие источника нагрева прекращалось и пластина остывала на спокойном воздухе при комнатной температуре (18-20 °С). Весь процесс изменения температуры во время нагрева и охлаждения записывался в виде массива данных в память компьютера. Так как опрос термопар происходит каждую секунду, а время термоцикла установлено по экспериментальным данным 18 мин, то регистрируется около тысячи значений текущей температуры (рис. 3).

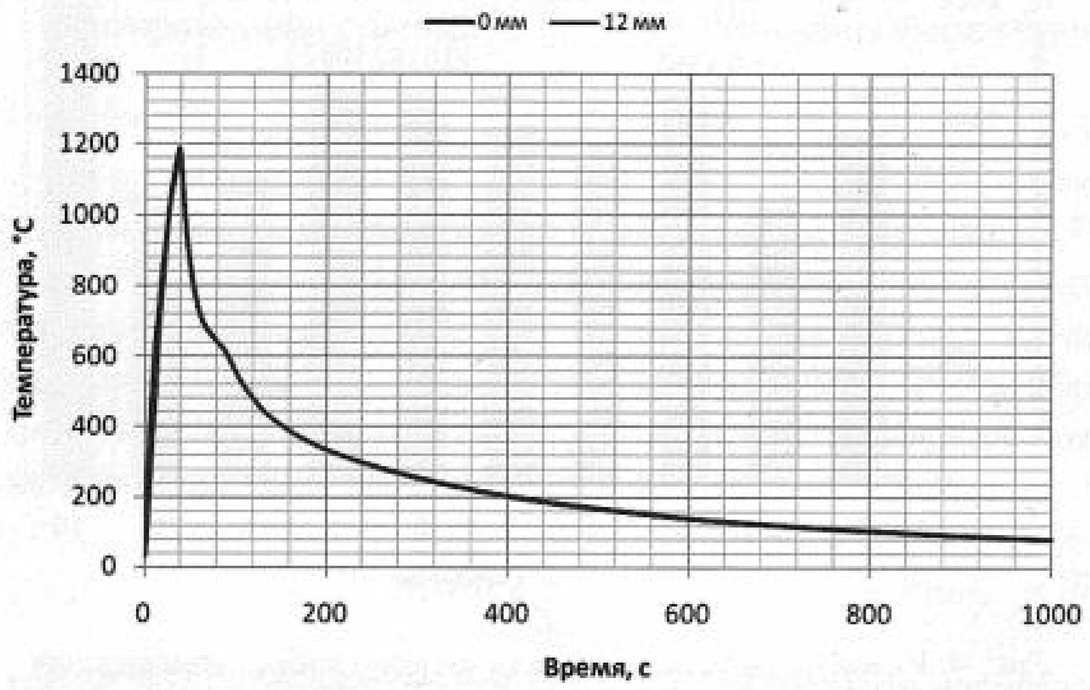


Рис. 3. Экспериментальный термоцикл

Для оценки влияния расхода газов на ход процесса нагрева было выделено несколько режимов работы установки, отличающихся количеством расходуемого газа и используемые для процесса наплавки. По экспериментальным данным, согласно [11], были вычислены значения мощности газовой струи для различных режимов. Исходя из количества введенного тепла, следует:

$$T(r, t_0) = \frac{\frac{Q}{\delta}}{cy(4\pi a t_0)} \cdot e^{\frac{-r^2}{4at_0}}$$

На рис. 4 приведены данные по расходу газов, их соотношению, а также мощности газовой струи при различных режимах. Вычисление мощности для этих режимов выполнялись с помощью пакета программ MathCAD и описанной выше системы сбора данных и измерения температуры на основе анализа полученных графиков термоциклов.

Из графика (рис. 4) видно, что наибольшим значением мощности пламени обладает режим 10 (2240 Дж/с), для

которого характерно соотношение газов: 2,25, наименьшим – режим 9 (соотношение газов составляет 1,51). Также видно, что расход газа мало влияет на мощность пламени. Определяющим фактором изменения мощности пламени является соотношение рабочих газов. Управляя потоком мощности с помощью автоматической системы газорегулирования, можно выстраивать наиболее эффективный тепловой режим, который позволит получить требуемые скорости нагрева и охлаждения в процессе сварки, наплавки и т.д.

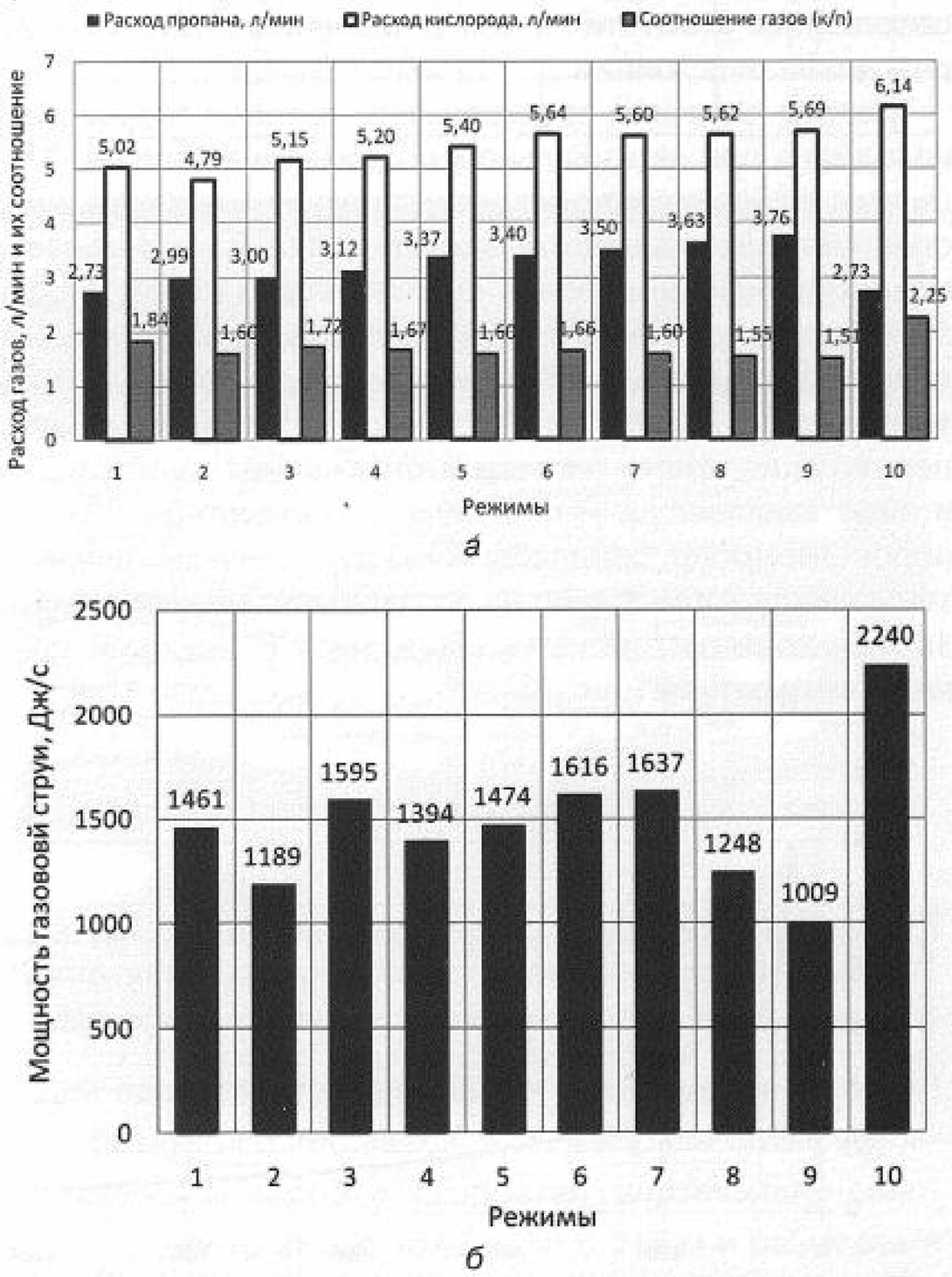


Рис. 4. Режимы работы автоматической газорегулирующей установки: *а* – расход газов и их соотношение; *б* – мощность пламени при различных режимах

Для СГП-наплавки порошка ПГ-СР3 на трубы диметром 50 мм и толщиной стенок 5 мм по результатам экспериментов наиболее эффективным является режим с мощностью пламени от 1550 Дж/с до 1650 Дж/с.

Вывод.

1. Усовершенствована методика сбора и обработки экспериментальных данных при исследовании процессов сварки и наплавки с помощью ПЭВМ и системы сбора данных.

2. Представленная методика является универсальной и позволяет осуществлять оценку температурных и деформационных условий протекания структурных превращений в применяемых сталях, определять эффективные режимы работы оборудования, что способствует ускоренному получению оптимальных технологических решений при существенном снижении ресурсоемкости самого процесса разработки.

Список литературы

1. *Компьютерные* технологии в сварке / А.В. Коновалов, Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушкин, А.П. Выборнов // Экономика промышленности. – 1999. – № 3. – С. 3 – 6.

2. *Теория* сварочных процессов / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

3. *Паспорт* устройства измерителя-регулятора «ОВЕН ТРМ 202 v2.025». – rem@owen.ru

4. *Чепрасов Д.П.* Структура и фазовый состав зернистого бейнита на участке полной перекристаллизации ЗТВ сварного соединения из низкоуглеродистых низколегированных сталей // Сварочное производство. – 2006. – № 2. – С. 3-8.

5. *Иванайский Е.А., Иванайский А.А.* Условия образования бейнитной структуры зернистой морфологии при сварке с программируемым тепловложением// Обработка металлов. – 2004. – № 2. – С. 29-30.

6. *Методика* моделирования сварочных термодеформационных циклов / Ю.М. Лебедев, Л.П. Кравченко, Н.М. Данилюк // Автоматическая сварка. – 1978. – № 12. – С. 31 – 33.

7. *Установка* для моделирования сварочных термодеформационных циклов / С.И. Ермаков, В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянц // Сварочное производство. – 1978. – № 2 . – С. 56 – 57.

8. *Касаткин Б. С, Бреднев В. И.* Особенности механизма образования холодных трещин в сварных соединениях низколегированных высокопрочных сталей // Автомат. сварка. – 1985. – № 8. – С. 1—6, 18.

9. *Радченко М.В., Радченко Т.Б., Стальная М.И., Череми-син П.С.* Совершенствование оборудования для газотермических способов нанесения покрытий за счет автоматизации процесса /Обработка металлов. – 2006. – № 3(32). – С. 4-7.

10. *Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Маньковский С.А., Нагорный Д.А., Черемисин П.С.* Разработка комплекса автоматизированного оборудования и технологии создания защитных покрытий на деталях котлов с «кипящим слоем»: Отчет о НИР по программе 3438р/5897 «СТАРТ-05»/ ООО «НИИ Высоких Технологий». Руководитель М.В.Радченко. Г.Р. № 0120.0 509888. Инв. № 02.2.007 00277. 0150 Барнаул, 2006. 0150 82 с.

11. *Рыкалин Н.Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951.– С.112-178.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКОМ

А. С. АНАНЬЕВ, канд.техн.наук, доцент, В. П. СЕРОВ, магистр ВолгГТУ, г. Волгоград

Проблема гарантированного достижения высокой точности и минимальной шероховатости поверхностей наружной резьбы к настоящему времени решена путем внедрения прогрессивных методов резьбообработки (применения резьбонакатных головок; шлифования много- и однониточными кругами на резьбошлифовальных станках и т. д.).

Однако при изготовлении точных внутренних резьб (степень точности 4-я и выше) возникает ряд проблем. Наиболее распространены в машиностроении точные метрические резьбы диаметрами 1...52 мм с шагом $P = 1; 1,5; 2$ и 3 мм. Для их нарезания в отверстиях чаще всего используют машинно-ручные режущие и бесстружечные метчики – наиболее распространенные универсальные инструменты.

Но метод нарезания резьбы метчиками имеет существенные недостатки: 1) он позволяет стабильно получать шероховатость резьбы лишь $Ra \geq 2,5$ мкм, что для точных соединений недостаточно; 2) при обработке метчиками под воздействием факторов, обусловленных состоянием технологической системы, неизбежно возникает разбивка резьбы.

Главными причинами возникновения разбивки являются действие осевых сил Рос, возникающих в тех-

нологической системе, и погрешности шага метчика. Кроме того, на разбивку влияют многие другие факторы: исполнительные и геометрические размеры метчика, состояние его режущего лезвия, точность вспомогательной оснастки и оборудования, режим обработки, физико-механические свойства обрабатываемого материала и др. Бесстружечные метчики позволяют практически исключить разбивку, однако, они могут применяться только для узкой номенклатуры высокопластичных материалов, например, легких сплавов.

Невозможность гарантированного получения резьбы заданной точности при машинной обработке приводит к тому, что в производстве точные резьбы приходится нарезать вручную; это является причиной неоправданных экономических и трудовых затрат [1].

Эффективное решение задачи гарантированного получения внутренней резьбы высокой точности представляется труднодостижимым без анализа силовых факторов, возникающих в процессе работы метчика.

На рис.1 представлена развёртка заборного конуса стандартного четырех-перового машинно-ручного метчика с прямыми канавками, работающего по генераторной схеме. Заштрихованные области на вершинах зубьев представляют собой сечения слоёв, срезаемых каждой отдельной режущей кромкой. Как видно из схемы, площади сечений срезаемых слоёв различны и располагаются на разном расстоянии от оси вращения метчика. Это приводит к силовой несбалансированности системы и , в конечном счете, к смещению положения оси метчика от номинального теоретического.

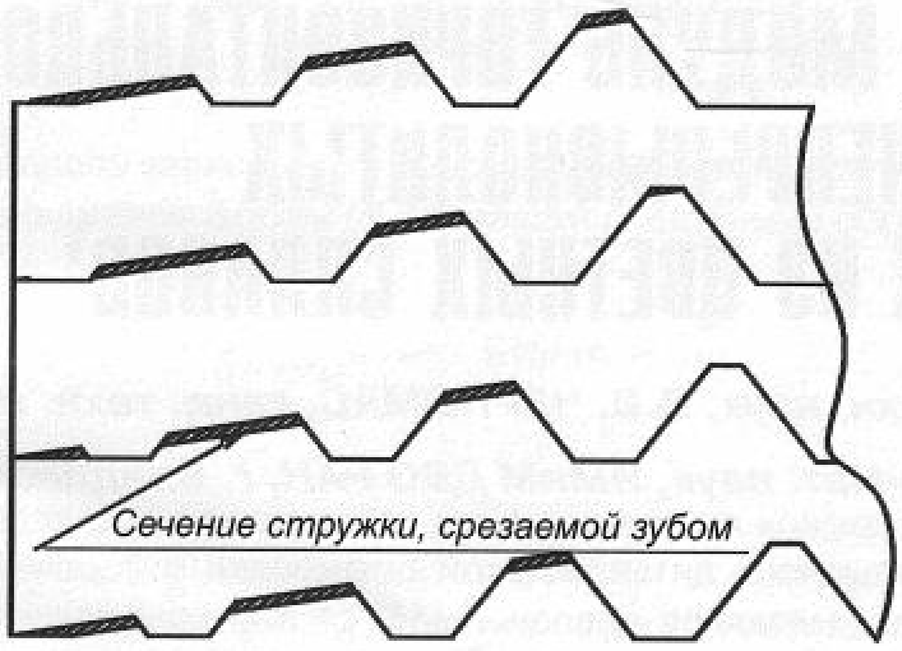


Рис. 1. Схема срезания материала заборным конусом метчика

Можно выделить два основных силовых фактора, действующих на отдельный режущий зуб метчика. Главным силовым фактором является сила резания. Вторым фактором является трение по боковым кромкам зубьев при перемещении метчика в глубь отверстия по образованной предыдущими зубьями винтовой поверхности. Очевидно, данное утверждение не относится к первому режущему зубу, на него воздействует только сила резания.

Согласно схеме обработки отверстия метчиком, изображенной на рис. 2, указанные выше силовые факторы можно разложить на следующие составляющие: $P_{тан}$ – составляющая, совпадающая по направлению со скоростью главного движения резания; $P_{ос}$ – составляющая, параллельная оси вращательного движения; $P_{рад}$ – составляющая, перпендикулярная оси вращательного движения.

Таким образом, распределённые силовые факторы заменяются сосредоточенными силами, приложенными в центре тяжести сечения срезаемого слоя.

Используя эти допущения в инструментальной системе автоматизированного проектирования СПРУТ v1.9 была разработана программа, позволившая оценить изменение суммарного статического момента срезаемых слоёв относительно оси вращения $M_{ст}$ в процессе работы заборного конуса. Основным критерием при выборе данной системы послужила возможность работы непосредственно с объектами векторной графики, такими как точка, прямая, окружность и контур. Эта возможность позволила отказаться от необходимости громоздкого аналитического описания геометрических объектов.

Расчет в программе осуществляется по формуле

$$M_{cm} = \sum_{i=1}^{n} S_i r_i \qquad (1)$$

где n – число участвующих в процессе резания зубьев в данный момент времени; S_i – площадь срезаемого i-м зубом слоя; r_i – расстояние от центра тяжести срезаемого i-м зубом слоя до оси вращения.

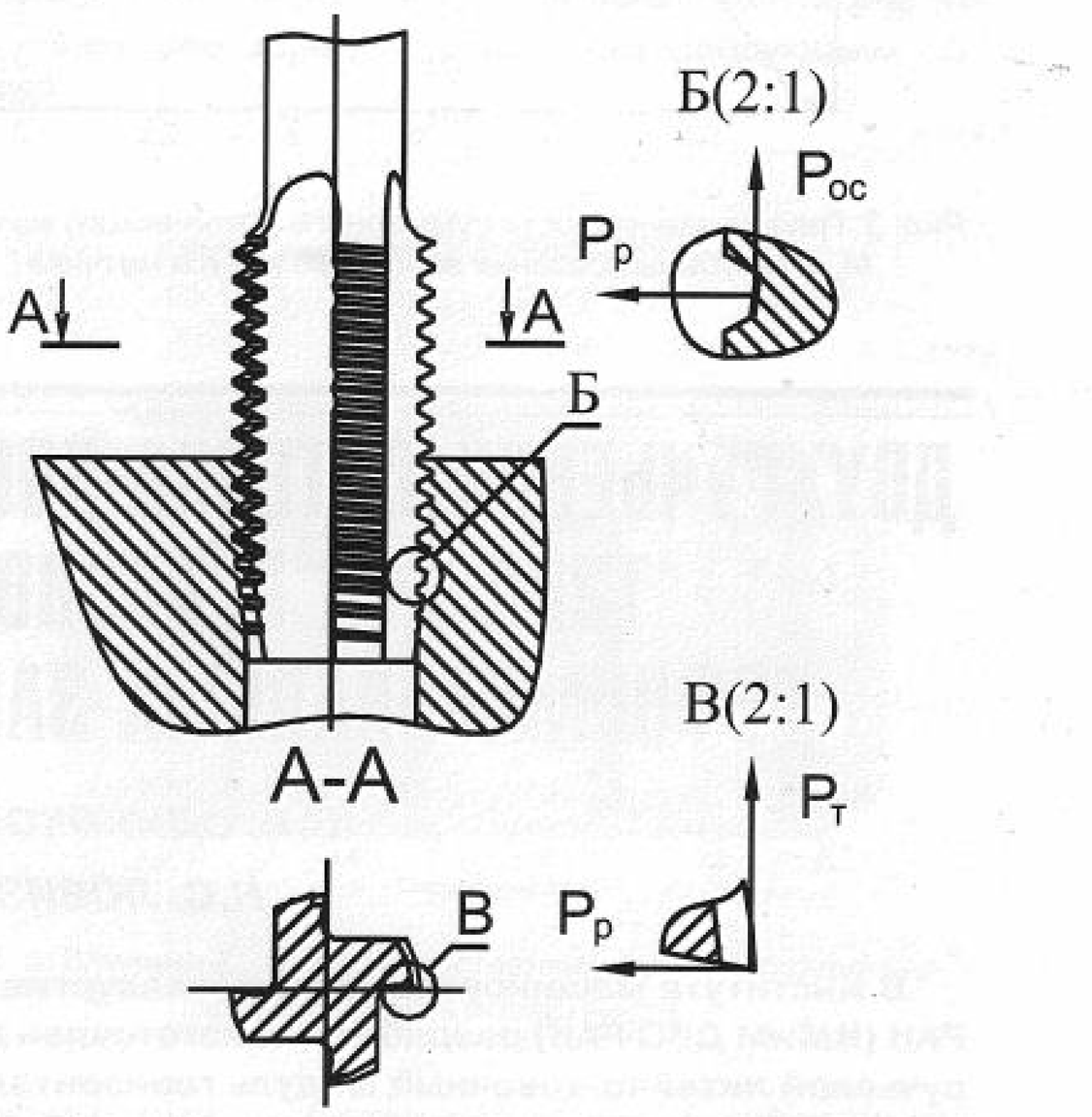


Рис. 2. Схема обработки резьбы метчиком

Для процесса нарезания резьбы со следующими параметрами метчика: шаг P = 1,00 мм, номинальный диаметр D = 8 мм, число перьев z = 4, угол заборного конуса ϕ = 12°; на рис. 3 представлена графическая зависимость суммарного статического момента срезаемых слоёв $M_{ст}$ от глубины врезания заборного конуса метчика L.

Суммарный момент M, который необходимо создать для осуществления процесса нарезания резьбы, можно представить следующим образом:

$$M = M_{рез} + M_{тр}, \qquad (2)$$

где $M_{рез}$ – момент, создаваемый тангенциальной составляющей силы резания; $M_{тр}$ – момент, создаваемый тангенциальной составляющей силы трения.

Если принять, что момент трения $M_{тр}$ пропорционален

моменту резания $M_{рез}$, то правомерно выражение:

$$M = (k_{рез} + k_{тан}) \cdot M_{ст}, \quad (3)$$

где $k_{рез}$ – коэффициент пропорциональности между срезаемой площадью и тангенциальной силой резания; $k_{тр}$ – коэффициент пропорциональности между срезаемой площадью и тангенциальной силой трения.

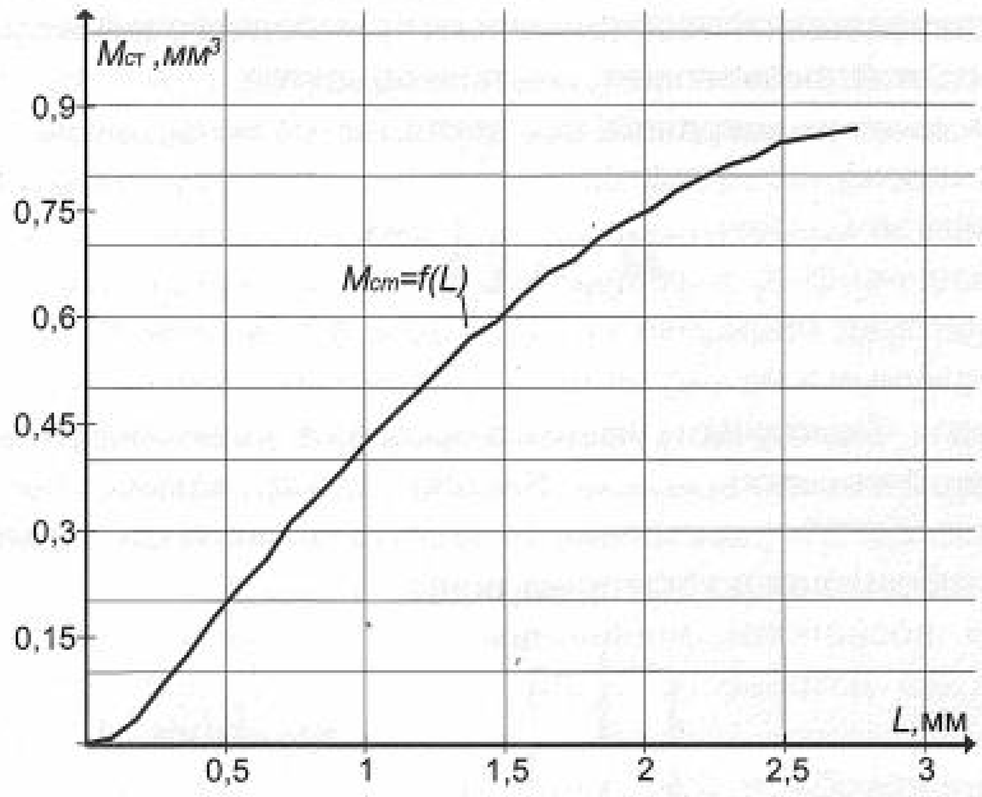


Рис. 3. График зависимости суммарного статического момента $M_{ст}$ от глубины врезания заборного конуса метчика L

С другой стороны, известны эмпирические зависимости крутящего момента М от параметров нарезаемой резьбы [2]:

$$M = 10 \cdot C_м \cdot D^q \cdot P^y \cdot k_F, \quad (4)$$

где P – шаг нарезаемой резьбы, мм; D – номинальный диаметр резьбы, мм; $C_м$, k_F, q, y – коэффициенты, зависящие от типа метчика и обрабатываемого материала.

Приравнивая правые части выражений (3) и (4), можно определить суммарный коэффициент пропорциональности ($k_{рез} + k_{тр}$) и, таким образом, перейти к рассмотрению сил на каждом зубе в отдельности.

Анализ векторных сумм сил, воздействующих на зубья метчика, позволит прогнозировать величины разбивки резьбы, возникающие при её изготовлении.

Список литературы

1. *Горленко, О. А.* Назначение допусков и исполнительных размеров метчиков /О. А. Горленко, И. А. Стешкова // СТИН. – 2005. – №3. – С.11–15.

2. *Справочник* технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/ под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – С.293–298

ДВУХРУЧЬЕВОЙ ЛИТЕЙНО-КОВОЧНЫЙ МОДУЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ[1]

В.И. ОДИНОКОВ, доктор техн. наук, В.В. ЧЕРНОМАС, канд. техн. наук, Н.С. ЛОВИЗИН, канд. ф-мат. наук, ИМиМ ДВО РАН, г. Владивосток

В Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН (ИМиМ ДВО РАН) разработан и изготовлен двухручьевой литейно-ковочный модуль горизонтального типа, позволяющий получать из расплавленного металла в непрерывном режиме деформированный профиль заданного поперечного сечения [1]. В статье приводятся данные о конструкции, технологических особенностях получения непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ), а также результаты металлографических исследований образцов НЛДЗ из технической меди. Представлены результаты оценки размерно-геометрической точности образцов НЛДЗ.

Для получения непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ) из цветных сплавов используются технология и комплекс оборудования для ее реализации, разработанные в Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН [1]. Сущность разработанного технологического процесса заключается в совмещении в одном устройстве одновременно трех технологических процессов, а именно непрерывного литья, жидкой штамповки и горячей обработки металлов давлением. В состав комплекса оборудования входят: индукционный плавильный агрегат марки ППИ-0,06, заливочно-дозирующее устройство и двухручьевой литейно-ковочный модуль горизонтального типа (ЛКМГ) с регулируемым приводом.

На рис. 1 представлен внешний вид опытно-промышленной установки ЛКМГ, изготовленной и установленной в ИМиМ ДВО РАН.

На рис. 2 показана схема ЛКМГ. Он включает в себя водоохлаждаемый кристаллизатор, состоящий из четырех частей: двух боковых стенок *1*, верхней и нижней стенок *5*. Каждая из боковых стенок закреплена в суппорте *2* и приводится в движение двумя приводными эксцентриковыми валами *3*. Валы *3* установлены в подшипниках верхней и нижней крышки *4*, и их вращение происходит навстречу друг другу.

Верхняя и нижняя стенки *5* приводятся в движение (в горизонтальной плоскости) с помощью одной из пар приводных эксцентриковых валов *3* посредством эксцентри-

[1] *Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (Грант ДВО РАН № 06-1-ЭММПУ-123).*

ковых втулок *6*. Верхняя и нижняя стенки плотно прижимаются к боковым стенкам *1* нажимными устройствами *7*, установленными в крышках *4* через плоский подшипник *8* с шариками. Боковые стенки *1* имеют наклонные и прямые участки. В верхней стенке *5* расположено окно для установки разливочного стакана. Такое же окно имеет и верхняя крышка *4*. Эксцентриковые валы состоят из трех участков. Средний участок имеет эксцентриситет e_1 и приводит в движение боковые стенки *1*. Верхний и нижний участки вала *3* имеют эксцентриситет e_2 и приводят в движение стенки *5* через систему *6* ($e_1 < e_2$). С правой стороны суппорты *2* крепятся на эксцентриковых валах *3* с помощью устройства, позволяющего перемещаться суппорту *2* относительно осей валов *3* по подшипникам скольжения.

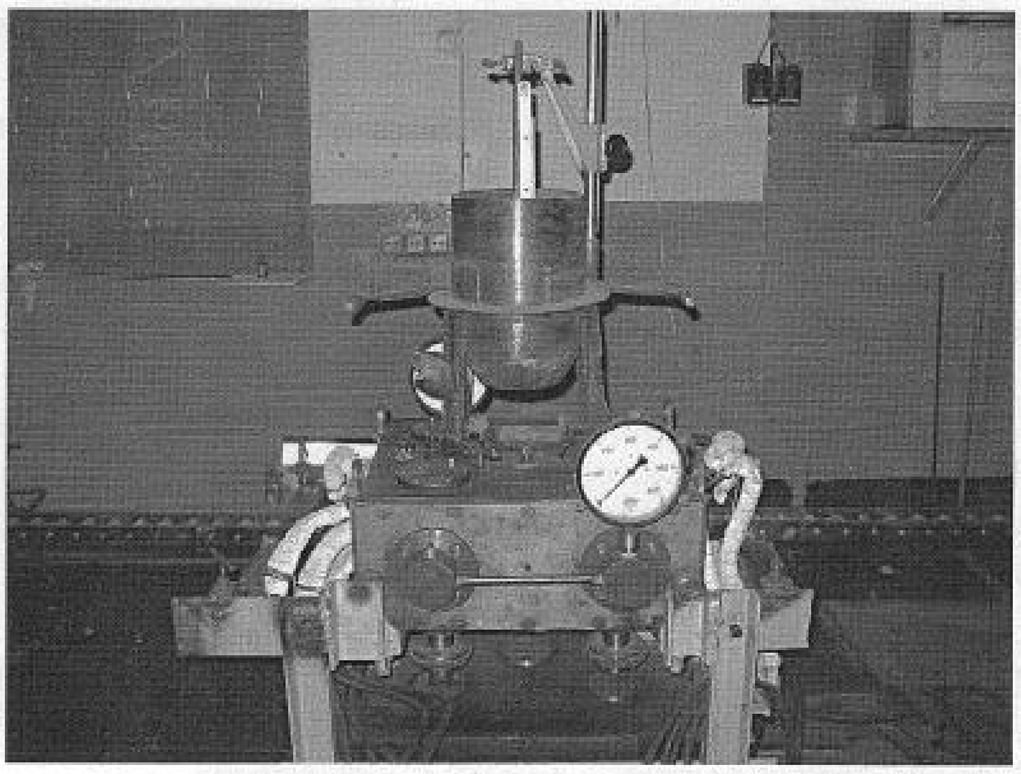


Рис. 1. Внешний вид опытно-промышленной установки ЛКМГ

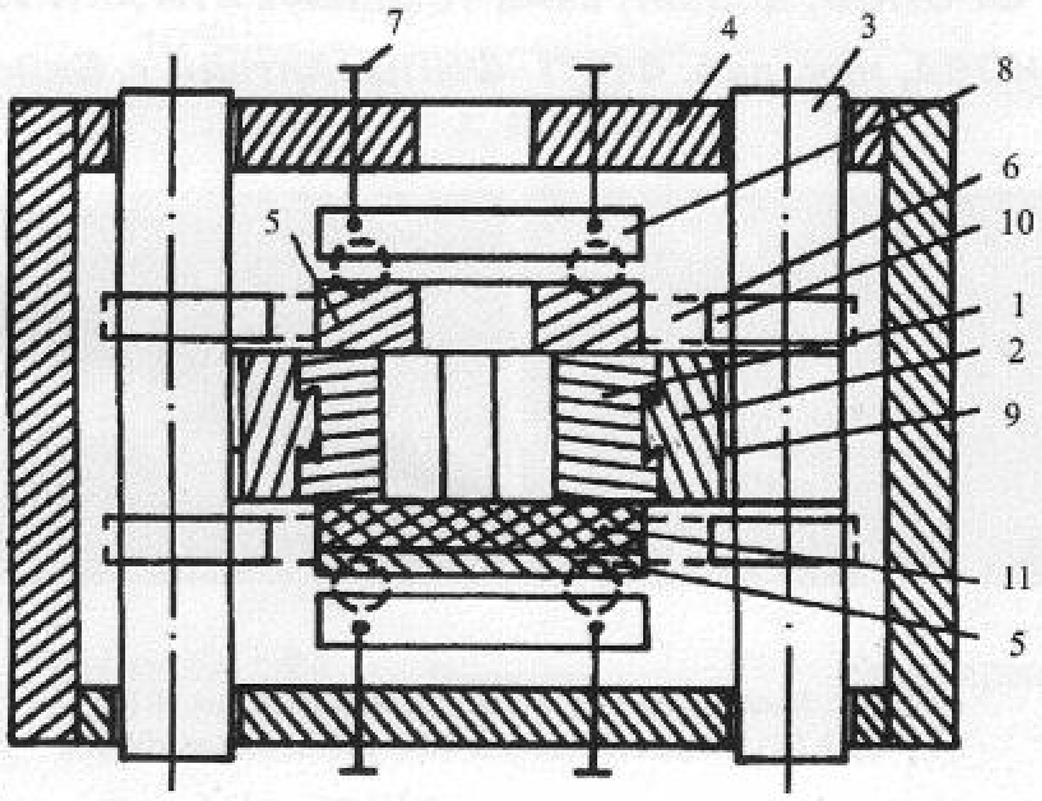


Рис. 2. Схема ЛКМГ

Работа устройства осуществляется следующим образом. При установившейся работе жидкий металл через разливочный стакан, установленный в окнах крышки *4* и верхней стенки *5*, заливается в сборный кристаллизатор, образующий бункер, где происходит кристаллизация металла. При вращении приводных эксцентриковых валов боковые стенки кристаллизатора совершают навстречу друг другу сложное движение в горизонтальной плоскости по замкнутой траектории. Это движение определяется величиной эксцентриков, их ориентацией относительно друг друга и направлением вращения валов в каждой боковой стенке. Такое движение боковых стенок способствует деформации закристаллизовавшегося металла и попеременную выдачу заготовки. Верхняя и нижняя стенки кристаллизатора, связанные только с эксцентриковыми валами, совершают в процессе вращения валов 3 возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости, способствуя попеременному продвижению закристаллизовавшегося металла (самоподачу) выхода заготовки. Движение стенок *5* осуществляется через эксцентрики *10*, расположенные на крайних участках валов *3*. Они повернуты относительно эксцентрика среднего участка *9*, на котором крепится суппорт *1*, на 90°. Для предотвращения размывания нижней стенки кристаллизатора она выполняется со вставкой *11* из жаропрочного материала. Работа ЛКМГ осуществляется следующим образом. Предварительно, перед заливкой кристаллизатора ЛКМГ расплавом, в его калибрующих частях (частях кристаллизатора, которые формируют поперечное сечение НЛДЗ) устанавливают «затравки» из пластичного металла. Эти «затравки» необходимы для того, чтобы обеспечить замкнутость внутренней полости кристаллизатора. Кристаллизатор разогревают до требуемого, технологическими режимами, распределения температур. Затем расплавленный металл из заливочно-дозирующего устройства подается в сборный кристаллизатор, образующий замкнутый объем. Подача расплава во внутреннюю полость кристаллизатора осуществляется через огнеупорный разливочный стакан, установленный в окнах стенки *4* станины и верхней стенки *5*. После заполнения кристаллизатора расплавом включают привод ЛКМГ и устанавливают требуемое число оборотов эксцентриковых приводных валов ЛКМГ. Далее согласовывается частота вращения приводных валов с расходом расплава из заливочно-дозирующего устройства.

На опытно-промышленной установке ЛКМГ были получены образцы НЛДЗ из технической меди марки М1 ГОСТ10018-79 (рис. 3).

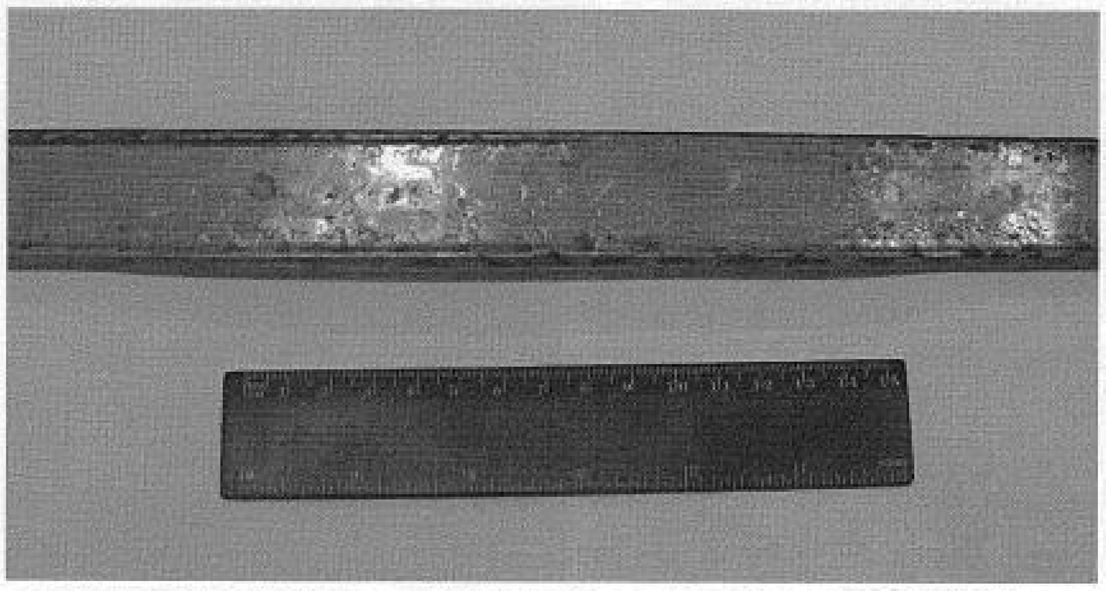


Рис. 3. Фотографии образца НЛДЗ из сплава М1

В качестве показателей качества, полученных образцов НЛДЗ были выбраны данные микроструктурного анализа (величина хорды зерна, равномерность распределения зерна), поверхностная твердость, а также их размерно-геометрическая точность. При изготовлении НЛДЗ из технической меди технологические и конструктивные параметры были следующие: размер поперечного сечения заготовки – 30Ч6 мм; длина заготовки – 500 мм; степень обжатия заготовки в калибрующей части кристаллизатора ЛКМГ – 0,6; начальная температура в центральной части кристаллизатора ЛКМГ – 700 °С; температура заливки – 1150 °С; скорость выхода НЛДЗ – 1,5 м/мин.

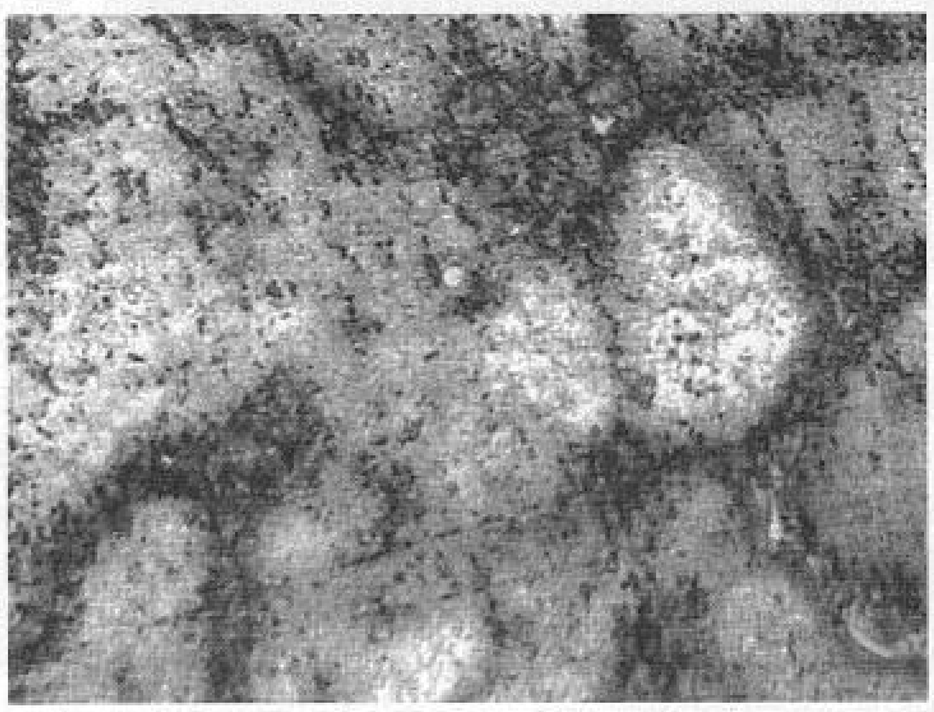


Рис. 4. Микроструктура образца НЛДЗ из сплава М1(Ч1000)

В микроструктуре образцов НЛДЗ (рис.4) наблюдаются две структурные составляющие – твердый раствор меди с растворяющимися в ней примесями, закристаллизовавшийся в виде мелких зерен и легкоплавкая эвтектика, которая располагается и по границам зерен, и в виде скоалесцировавшихся участков. При горячей деформации в твердо-жидком состоянии твердый раствор меди уже закристаллизовался, а легкоплавкая эвтектика находилась в жидком состоянии. Это позволило эвтектике, перемещаясь под давлением между кристаллитами меди, образовать характерные участки. О наличии обжатия при таких температурах говорит наличие деформированных, вытянутых в направлении деформации зерен твердого раствора меди. Металл имеет однородную по размеру зерна структуру с размерами хорд 0,019...0,026 мм. Поверхностная твердость тест-образцов составила 80-90НВ.

Размерно-геометрическую точность образцов НЛДЗ типа полосы, размерами 30х6 мм, оценивали по отклонениям ее толщины от номинальных размеров оснастки. В качестве номинального размера оснастки был выбран размер калибрующей части подвижного кристаллизатора ЛКМ. Измерения производили вдоль осевой линии заготовки с шагом измерений в 20 мм. Количество точек измерений составляло не менее 20 по одному образцу. После статистической обработки результатов измерений среднее абсолютное отклонение от номинального размера составило 0,18 мм при доверительной вероятности 0,95. Это отклонение соответствует 3 классу точности по ГОСТ 26645-85 и является характерным для заготовок аналогичного типоразмера, которые изготавливаются специальными способами литья (литье под давлением, жидкая штамповка).

Список литературы

1. *Одиноков В.И.* Теоретическое и экспериментальное исследование непрерывного процесса кристаллизации металла при одновременном его деформировании / В.И. Одиноков, Б.И. Проскуряков, В.В. Черномас. М.: Наука 2006. – 111 с.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ НИКЕЛЬ-АЛМАЗНЫЕ ПОКРЫТИЯ

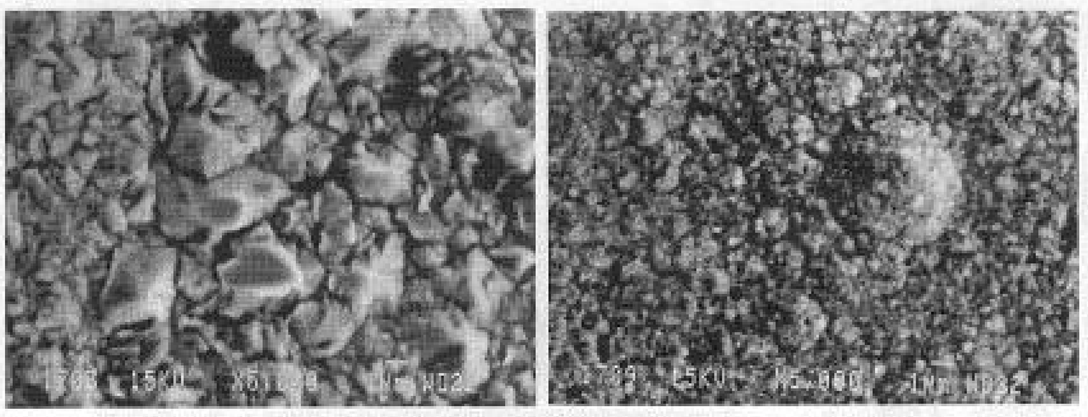
В.Н. БЕЛЯЕВ, доцент, канд.техн.наук, А.В. ФРОЛОВ, доцент, канд.техн.наук БТИ АлтГТУ,

И.С. ЛАРИОНОВА, нач. лаб. ФГУП «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Электролитические и химические покрытия широко используются в машиностроении для увеличения износостойкости и коррозионной стойкости деталей машин и инструмента, при восстановлении изношенных деталей, снижении коэффициента трения в парах трения и др. Одним из способов повышения качества электролитических покрытий является введение в электролиты различных дисперсных частиц – твёрдых наполнителей (SiC, B_4C, Si_3N_4, различных алмазов и др.). В настоящее время в качестве твёрдого наполнителя широко применяются наноалмазы детонационного синтеза. Размеры используемых частиц ультрадисперсного алмаза (УДА) находятся в пределах от 4 до 100 нм, при этом удельная поверхность УДА по разным оценкам составляет от 300 до 450 $м^2/г$.

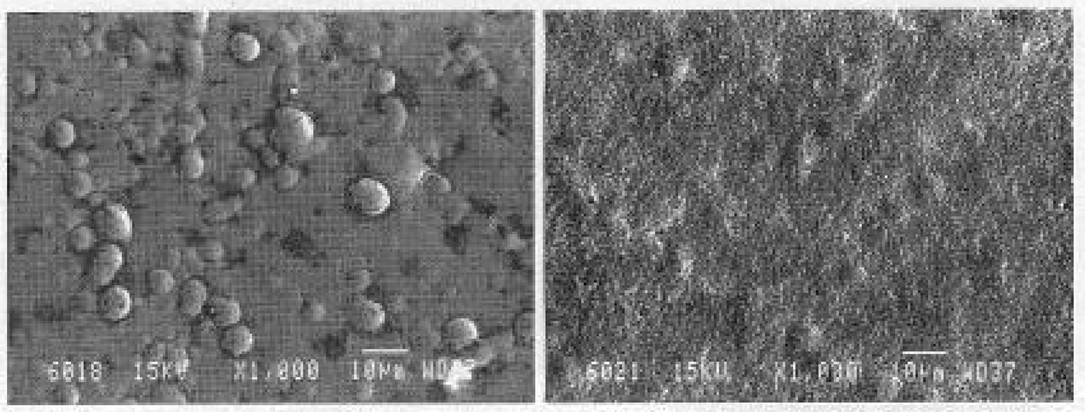
В ФГУП «ФНПЦ «Алтай» было исследовано влияние УДА в электролите на свойства получаемых никелевых электрохимических и химических покрытий. Для экспериментов использовали стандартные электролиты, в качестве материала подложки – сталь 40Х, чугун ВЧ-45-5, алюминиевые сплавы АК-12 и Д-16. Концентрацию УДА в электролите изменяли от 5 до 10 г/л. В электролит УДА вводили в виде водной суспензии.

На снимках, выполненных при помощи электронного микроскопа, видно, что структура никелевого покрытия, полученного из электролитов, содержащих УДА, более мелкозернистая по сравнению со структурой покрытия, полученного из «чистых» электролитов (без УДА) (рис. 1, 2).



а *б*

Рис. 1. Микроструктура электрохимических Ni (а) и Ni–УДА (б) покрытий (сталь 40Х, увеличение ×5000)



а *б*

Рис. 2. Микроструктура химических Ni-P (а) и Ni-P–УДА (б) покрытий на чугуне (увеличение ×1000)

Рентгеноструктурный анализ также показал изменение структуры никелевых покрытий, полученных из электролитов с УДА (см. таблицу)

Согласно полученным результатам, изменение текстуры осаждаемого слоя никеля при введении УДА в электролитический процесс приводит к уменьшению (с 3,5137 до 3,4907...2,5032 Å) параметров кристаллической решетки и одновременному снижению внутренних напряжений ($\Delta d/d$ уменьшается с 1,6 до 1,4 единиц) при сохранении фазового состава системы. Вероятно, данные изменения обусловлены участием дисперсной фазы в процессе образования центров кристаллизации (зародышей) металлического покрытия. Наличие большого числа наноразмерных центров кристаллизации способствует формированию мелкозернистой структуры осаждаемого слоя металла. Более мелкозернистая (плотноупакованная) структура никелевых покрытий обеспечивает повышенные физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий: микротвёрдость, износостойкость, коррозионную стойкость и др. (рис. 3, 4).

В отличие от химических покрытий Ni-P (рис. 5) химические покрытия Ni-P–УДА обладают более развитой мелкозернистой структурой, что способствует увеличению их плотности и микротвердости. Незначительные изменения микротвердости Ni-P–УДА с увеличение толщины также свидетельствуют об однородности и равномерности получаемого покрытия.

В ходе анализа полученных результатов были выявлены зависимости микротвёрдости химических покрытий от pH среды и концентрации наноалмазных частиц в электролите (рис. 6, *а*, *б*).

Из рис. 6, *б* видно, что значение микротвердости достигает максимума при концентрации УДА 5 г/л, причем её дальнейшее увеличение приводит к увеличению центров восстановления металлического никеля в объеме электролита, в результате чего происходит выпадение никеля и снижение микротвердости и толщины покрытия.

Полученные рентгенограммы химических покрытий имеют уширенные пики, что характерно для очень малых размеров ОКР. Обработка полученных данных по программе Original 7.0 (Гауссово разложение) позволило выявить ОКР двух размеров (1 и 9 соответственно). Для сравнения: ОКРЭЛ.ХИМ.Ni =50, ОКРХИМ.Ni 1–9. Вместе с тем химические никелевые покрытия обладают высокой степенью структурирования: преимущественная ориентация кристаллитов составляет 86 % для чистого никеля и 90 % для никеля с УДА (таблица 2). При этом в слое Ni–УДА фиксируется тенденция к увеличению параметров кристаллической решетки.

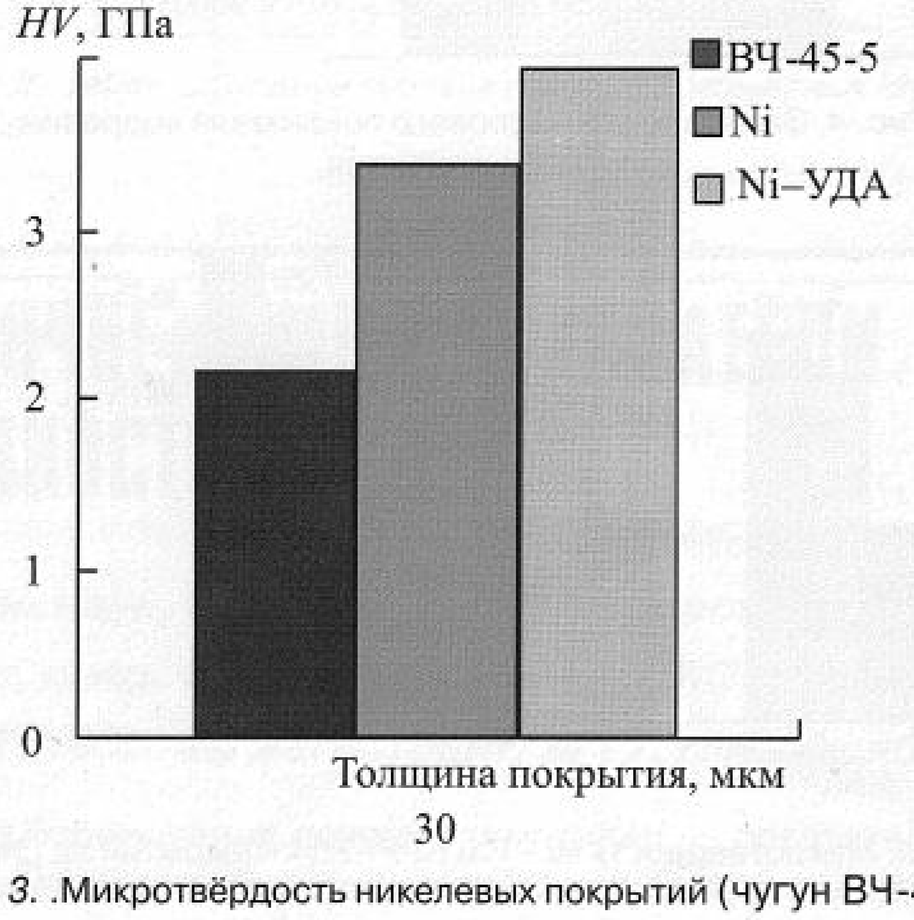


Рис. 3. .Микротвёрдость никелевых покрытий (чугун ВЧ-45-5)

Структурно-фазовые характеристики никелевых покрытий

Покрытие /марка подложки	Фазовый состав	Доля фаз, % об.	Параметр кристаллической решетки *a*, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$	Преимущественная ориентация
Электрохимических						
Ni Сталь 40Х	Ni SG225 Cubic	100	3,5137	50	1,6	55 % <200>
Ni-УДА Сталь 40Х	Ni SG225 Cubic	100	3,4907	50	1,5	Сложная текстура
Ni-УДА Чугун ВЧ-45-5	Ni SG225 Cubic	100	3,5032	40	1,4	Сложная текстура
Химических						
Ni Чугун ВЧ-45-5	Ni SG225 Cubic	60	3,5318	1	–	86 % в направлении <111>
	Ni SG225 Cubic	40	3,5318	9	–	86 % в направлении <111>
Ni-УДА Чугун ВЧ-45-5	Ni SG225 Cubic	64	3,6181	1	–	90 % в направлении <111>
	Ni SG225 Cubic	37	3,6181	7	–	90 % в направлении <111>
Ni-УДА Сталь 40Х	Ni SG225 Cubic	92	3,5245	14	–	90 % в направлении <111>
	Ni SG225 Cubic	8	3,5245	2	–	90 % в направлении <111>
	C SG225 Diamond	Возможно	3,5670	–	–	Нет
	Подложка (Fe,C)	Следы	–	–	–	Нет

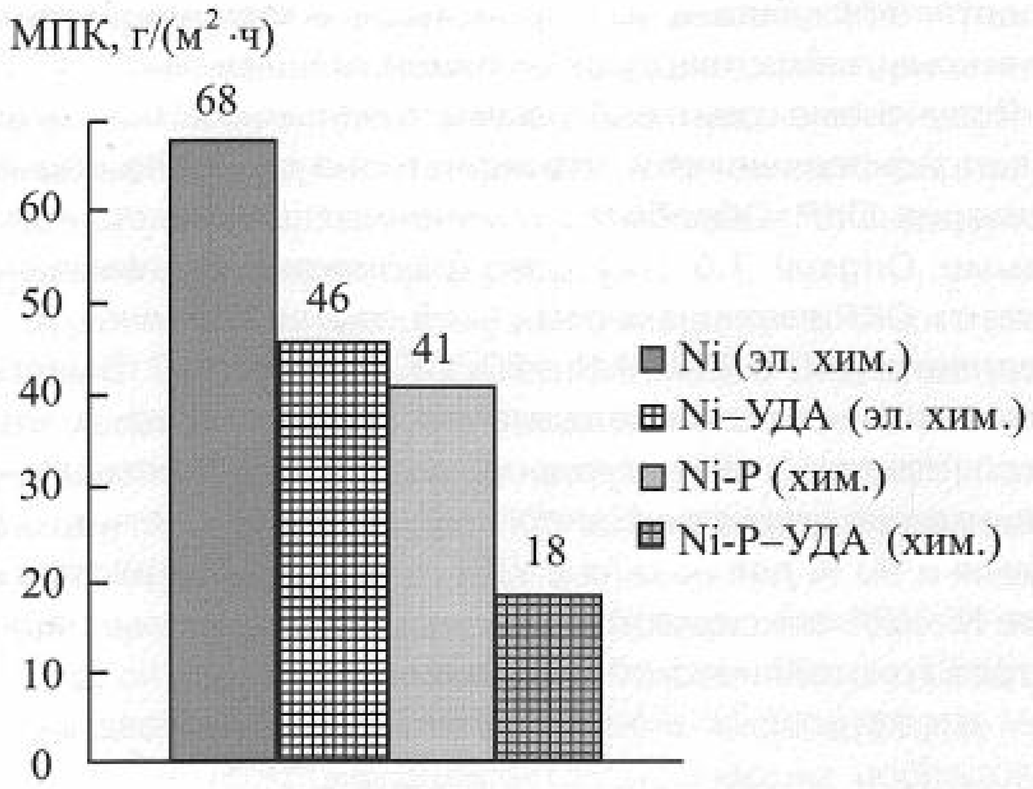


Рис. 4. Зависимость массового показателя коррозии от вида покрытия

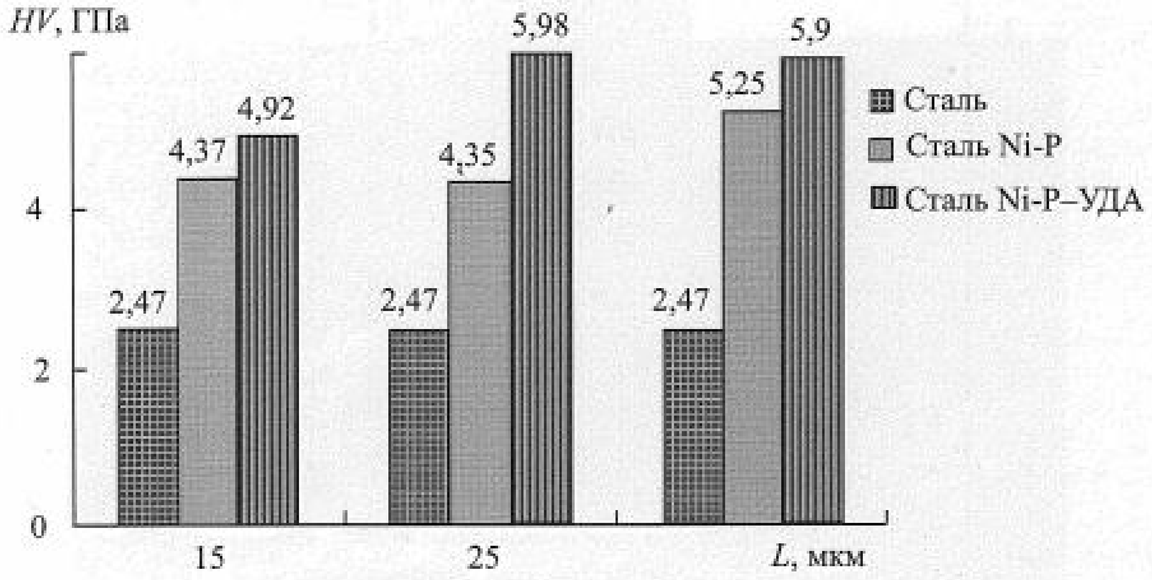
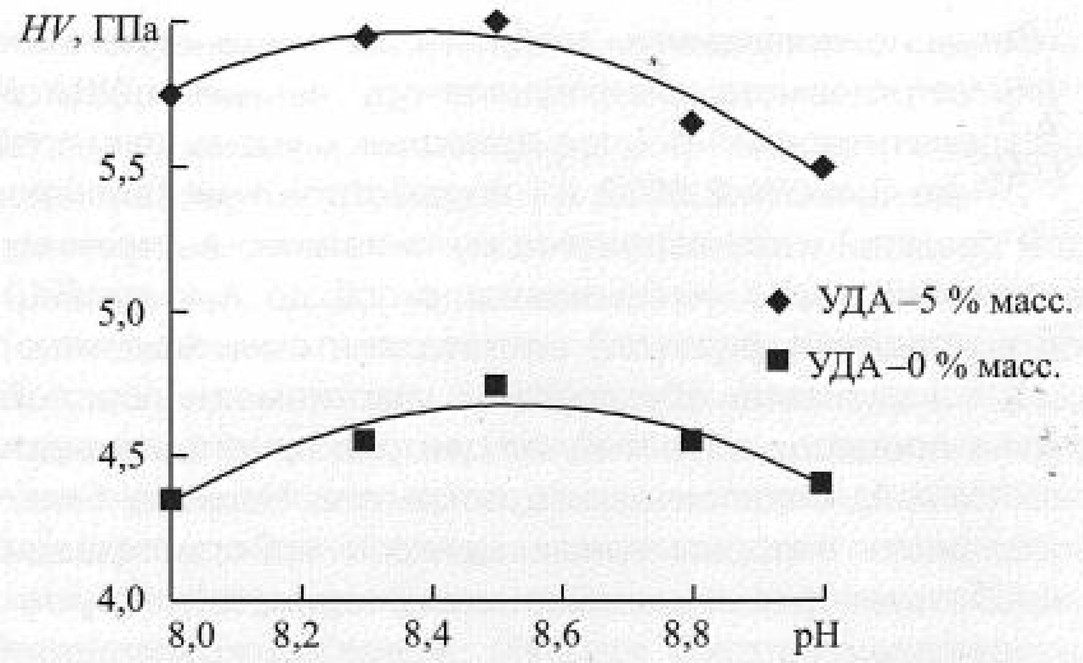
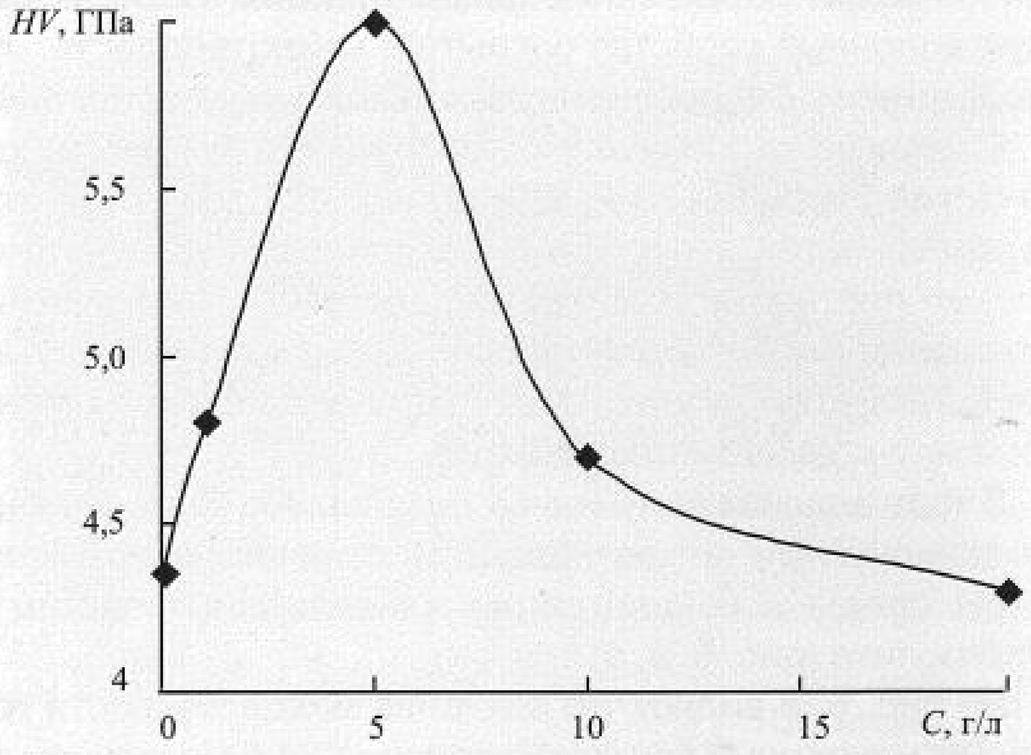


Рис. 5. Микротвердость Ni – P и Ni-P–УДА -покрытий на стали



а



б

Рис. 6. Зависимость микротвердости Ni покрытия от pH (*а*) и от концентрации УДА (*б*)

Выводы

1. На примере использования стандартных электролитов химического и электрохимического никелирования проведено сравнение свойств полученных металлалмазных покрытий со стандартными металлическими покрытиями и продемонстрирован эффект повышения качественных показателей покрытий благодаря введению частиц наноалмаза.

2. Добавка УДА в покрытие позволяет повысить микротвердость на 10...50 % и на 15...40 % для химических и электрохимических покрытий. Коррозионная стойкость никелевых покрытий увеличивается на 45 и 125 % для электрохимических и химических способов нанесения. Износостойкость никелевых покрытий увеличивается в 2 – 4 раза при статических нагрузках и на 10...20 % при динамических.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

А.В. БАЛАШОВ доцент, канд. техн. наук АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Обработка резанием нежестких деталей характеризуется трудностями обеспечения заданных размеров и формы детали. Основной причиной технологических трудностей является высокая податливость заготовки, которая вызывает упругие деформации. Отрицательное действие данного фактора приводит к ограничению режимов резания, снижению точностных показателей технологической системы, необходимости применения сложной технологической оснастки и др. Поэтому назрела потребность в усовершенствовании существующих и разработке новых технологических процессов изготовления таких деталей.

Решению этой задачи способствует разработанная методика проектирования технологических операций обработки нежестких деталей (рис. 1).

Первый этап методики (блоки 1...9, 12, 13, 14) направлен на оптимизацию режимов резания по критерию минимальной себестоимости обработки с использованием «стандартной» технологической оснастки. Для станков со ступенчатым приводом оптимизация реализуется методом перебора значений подач Si и частот вращений шпинделя ni, для станков с бесступенчатым приводом – методом Монте-Карло.

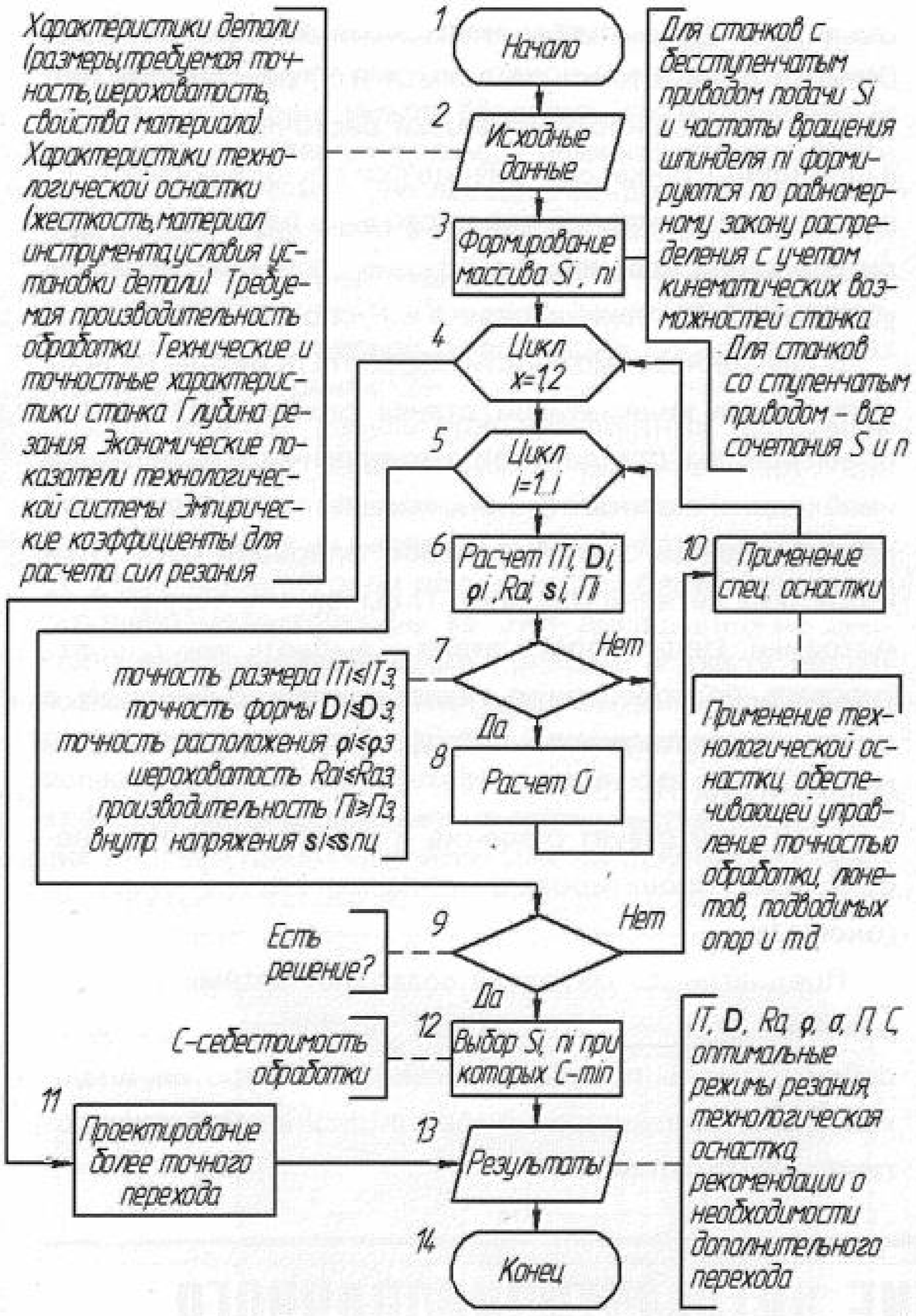


Рис. 1. Алгоритм методики проектирования технологических операций обработки нежестких деталей

Себестоимость обработки рассчитывается по формуле

$$C = x\left(T_{пр} + \frac{L_{р.х.}}{S_i n_i}\right) + \frac{L_{р.х.}}{S_i n_i}\left[\frac{1000\,C_V K_V}{\pi t^x S_i^y D n_i}\right]^{\frac{1}{m}}\left(x T_{см.ин.} + \frac{C_{ин}}{k+1}\right), \quad (1)$$

где x – стоимость станкоминуты; $T_{пр}$ – суммарное время простоя оборудования, приходящееся на одну деталь; $L_{р.х.}$ – длина рабочего хода; C_V, K_V, x, y, m – эмпирические коэффициенты; D – диаметр обрабатываемой поверхности или инструмента; $T_{см.ин.}$ – время смены инструмента; $C_{ин.}$ – стоимость инструмента; k – число переточек.

Ограничениями в модели оптимизации режимов обработки служат:

1). шероховатость обработанной поверхности:

$$Ra = \frac{S_i}{4(\mathrm{tg}\varphi + \mathrm{ctg}\varphi_1)} \le Ra_з\,, \quad (2)$$

где φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный угол в плане;

2). внутренние напряжения. Для условий продольно-поперечного изгиба детали внутренние напряжения можно определить по формуле

$$\sigma = \frac{P_з}{F} + \frac{M_x(S_i,n_i)}{W_x} + \frac{P_з \nu(S_i,n_i)}{W_x} \le \sigma_п\,, \quad (3)$$

где $P_з$ – продольная сила закрепления;. M_x – изгибающий момент в текущем сечении, вызванный действием осевой силы резания; v – прогиб детали, вызванный действием как силой закрепления, так и силой резания; W_x – осевой момент сопротивления в плоскости действия осевой силы резания; F – площадь поперечного сечения; $\sigma_п$ – предел пропорциональности материала заготовки;

3). производительность обработки

$$П = \left(T_{пр} + \frac{L_{р.х.}}{S_i n_i}\left(1 + T_{см.ин.}\left[\frac{1000 C_V K_V}{\pi t^x S_i^y D n_i}\right]^{-\frac{1}{m}}\right)\right)^{-1} \ge П_з, \quad (4)$$

4). показатели точности обрабатываемой поверхности. Показатели точности определяются математическим моделированием.

В качестве примера рассмотрим модель расчета показателей точности отверстия в нежестком уголке при растачивании (рис. 2).

В соответствии с существующими методиками определение показателей точности не представляет трудностей, если известен массив радиусов-векторов, описывающих профиль поверхности.

Радиус-вектор, описывающий отверстие можно записать, $\vec{r}(\varphi)$:

$$\vec{r}_д(\varphi) = r_{ст} - \vec{\omega}(\varphi), \quad (5)$$

где $r_{ст}$ – радиус статической настройки расточной борштанги; ω – упругие отжатия расточной борштанги; φ – угол поворота радиус-вектора.

Зависимость упругих отжатий расточной борштанги от угла поворота радиуса-вектора $\omega(\varphi)$ определяется:

$$\omega(\varphi) = \frac{P_y(t_\phi(\varphi))l_0^2}{3EI} + \frac{P_x(t_\phi(\varphi))(r_{cm}+r_p)l_0^3}{2EI} + \frac{P_z(t_\phi(\varphi))l_0^3}{3EI}, \quad (6)$$

где $P_y(t_\phi(\varphi))$, $P_x(t_\phi(\varphi))$, $P_z(t_\phi(\varphi))$ – зависимость радиальной, осевой и тангециальной сил резания от угла поворота радиуса-вектора, соответственно; r_p – вылет резца; l_0 – длина консольной части оправки от вершины резца до торца шпинделя; E – модуль упругости материала расточной борштанги; I – момент инерции расточной борштанги.

Фактическая глубина резания определяется:

$$\vec{t}_\phi(\varphi) = r_{cm} - \vec{r}_з(\varphi)\,, \quad (7)$$

где $r_з(\varphi)$ – радиус-вектор отверстия в заготовке.

Формулу (7) можно преобразовать в следующий вид:

$$\vec{t}_\phi(\varphi) = \sqrt{(x(\varphi) - x_1(\varphi))^2 + (y(\varphi) - y_1(\varphi))^2}\,, \quad (8)$$

где $\begin{cases} x(\varphi) = r_{AB}\cdot\cos(\varphi), \\ y(\varphi) = r_{AB}\cdot\sin(\varphi), \end{cases} \quad \begin{cases} x_1(\varphi) = r_з\cdot\cos(\varphi) - \Delta x, \\ y_1(\varphi) = r_з\cdot\sin(\varphi)\cdot\cos(\alpha(\varphi)) - \Delta y, \end{cases} \quad (9)$

где α – угол наклона нежесткой поверхности заготовки с отверстием; Δx, Δy – величина несовпадения положений оси отверстия в заготовке и оси вращения расточной борштанги по осям X и Y, соответственно.

Величину угла наклона, α можно найти по формуле:

$$\alpha(\varphi) = \frac{P_x(t_\phi(\varphi))l(\varphi)^2}{2EJ}, \text{ рад}, \qquad (10)$$

где $l(\varphi)$ – зависимость расстояния от вершины резца рас-

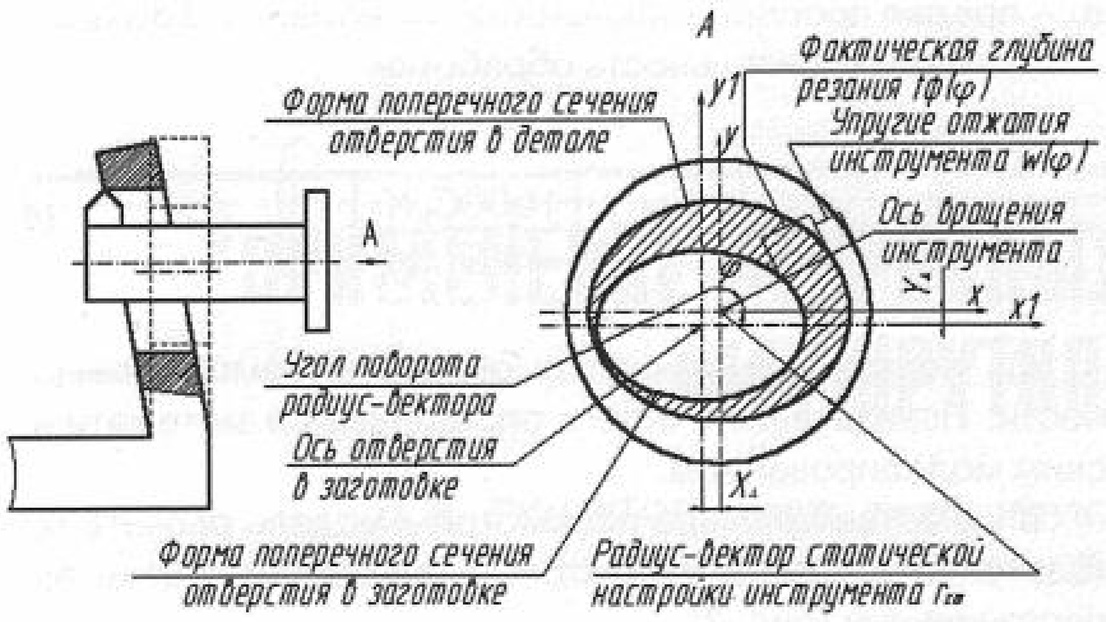


Рис. 2. Расчетная схема

точной борштанги до базовой плоскости заготовки от угла поворота радиуса-вектора; E – модуль упругости материала заготовки; I – осевой момент инерции нежесткой поверхности заготовки с отверстием.

Значения Δx и Δy равны:

$$\begin{cases} \Delta x = \omega_{поз_x} + \omega_{уст.р.и.} + \omega_б + \omega_{уст.заг._x} \\ \Delta y = \omega_{поз_y} + \omega_{уст.р.и.} + \omega_б + \omega_{уст.заг._y} \end{cases}, \qquad (11)$$

где $\omega_{поз._x}$, $\omega_{поз._y}$ – погрешность позиционирования рабочего органа станка по осям X и Y, соответственно; $\omega_{уст.р.и.}$ – погрешность установки расточной борштанги в шпиндель станка; $\omega_б$ – биение оси посадочного отверстия шпинделя станка под расточную борштангу относительно оси вращения; $\omega_{уст.заг_x}$, $\omega_{уст.заг_y}$ – погрешность установки заготовки по осям X и Y, соответственно.

В случае невозможности обработать деталь на всех допустимых кинематикой станка режимах резания с применением стандартной технологической оснастки необходимо в соответствии с предлагаемой методикой проектирования технологических операций обработки нежестких деталей (см. рис. 1) выполнить второй этап методики. Цель второго этапа – выбрать или спроектировать прогрессивную технологическую оснастку и оптимизировать режимы обработки для этой оснастки (блоки 4...10, 12, 13, 14).

Если отсутствует решение и в этом случае, то необходимо проектировать дополнительный переход (блок 11).

Предлагаемая методика позволяет оптимизировать режимы резания, рассчитать показатели точности, себестоимость, производительность обработки, шероховатость, производить выбор рациональной технологической оснастки.

*ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

А.В.ВАЛЬТЕР, ст. преп. ЮТИ (филиал) ТПУ г.Томск

В рамках проводимых исследований в Юргинском технологическом институте Томского политехнического университета разрабатывается система автоматизированного проектирования (САПР) металлорежущих инструментов. Разрабатываемая САПР должна быть гибкой, помогающей конструктору-инструментальщику в проектировании инструмента за счёт автоматизации ряда проектных процедур.

В настоящее время в разработке находится программное обеспечение «Катти», которое является САПР на базе подсистемы машинной графики и построено на графическом ядре «OpenCASCADE 6.1.0». Логически система состоит из двух структурных единиц: модуля геометрического моделирования металлорежущих инструментов и модуля анализа проектных решений.

Модуль геометрического моделирования предназначен для создания объёмных моделей инструментов и обеспечения импорта-экспорта моделей через нейтральные форматы данных (IGES, STEP). В модуле реализуется достаточно полная функциональность системы трёхмерного гибридного моделирования, включая управление локальными системами координат и дерево построения объектов (CSG-дерево) (рис. 1).

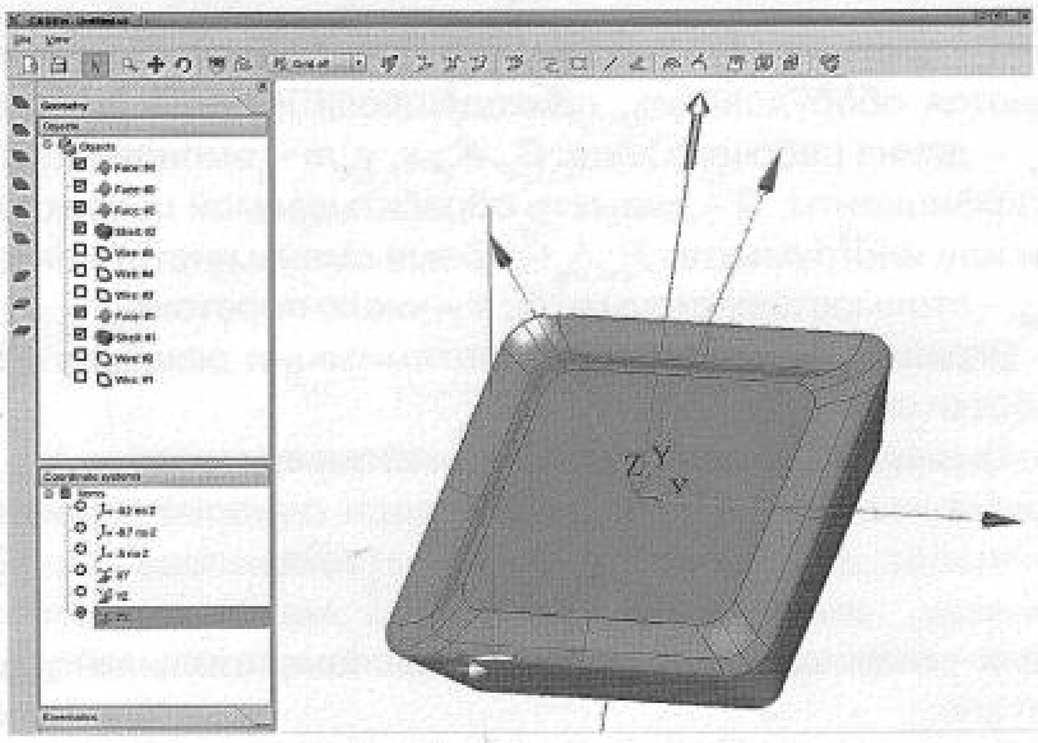


Рис. 1. Модуль геометрического моделирования

✱ – *здесь и далее изложение доклада на 5-ой научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности металлобработки в промышленности на современном этапе», 28 марта 2007 г., г.Новосибирск*

Наибольшее внимание уделяется модулю анализа, который построен вокруг анализа кинематики процесса резания. Следует отметить, что анализ кинематики резания отличается от анализа кинематики механизмов, который реализован в ряде современных САПР. Это связано с тем, что во втором случае основной задачей является установление положения деталей и узлов механизма в определённые моменты времени, в то время как в процессе резания важно иметь данные о положении и ориентации рабочих элементов инструмента (нормали передней и задней поверхности, направляющие векторы режущей кромки), а также о мгновенных значениях векторов скорости результирующего движения резания.

Основы научного метода исследования кинематических схем резания даны в работе [1]. Несмотря на исчерпывающую классификацию возможных схем резания и целый ряд практических приложений кинематических схем, применительно к автоматизированному проектированию требуется несколько изменить подход к анализу. Он должен быть наиболее общим, т. е. учитывать любые возможные сочетания движений, включая зависимость их значений друг от друга.

В системе «Cutty» движения задаются в виде иерархической структуры, «корнем» которой является неподвижная глобальная система координат. Крайними «листьями» являются системы координат, связанные с заготовкой и инструментом. Между «корнем» и крайними «листьями» лежат элементарные движения схемы резания – поступательные и вращательные. Поступательные движения характеризуются единичными векторами направления (v_i) и величиной скорости (V_i). Вращательные движения характеризуются положением оси (радиусом-вектором точки оси – $p_{\omega i}$ и единичным вектором направления оси – w_i) и угловой скоростью (W_i). Каждому узлу иерархической структуры соответствует собственная локальная система координат (СК). Каждая локальная СК характеризуется двумя матрицами преобразований, зависящих от рассматриваемого момента времени: $M_1(t)$ выражает преобразования самой СК и наследуется от родительского узла локальной СК; $M_2(t)$ характеризует преобразования внутри самой СК и совместно с $M_1(t)$ используется для определения суммарных преобразований. Матрица-произведение наследуется следующей, лежащей на уровень ниже локальной СК в качестве матрицы $M_1(t)$. На рис. 2 представлены примеры разбивки кинематических схем резания на локальные СК.

Такая форма представления кинематических схем позволяет использовать общий подход к определению положения геометрических элементов инструмента относительно глобальной системы координат. Так для примера на рис. 2 координаты точек, нормалей поверхностей и направляющих векторов линий инструмента в момент времени t определяются из уравнения.

$$a'(t) = M^{W_2}(t) \times a ,$$

где $M^{W_2}(t)$ – выходная матрица преобразований СК вращательного движения W_2; a – радиус-вектор рассматриваемой точки, либо рассматриваемая нормаль, направляющий вектор.

Аналогично определяются и направления движений и осей вращения. Для примера на рис. 2 направление оси вращения для момента t определяется из уравнения:

$$w'(t) = M^{V_2}(t) \times w ,$$

где $M^{V_2}(t)$ – выходная матрица преобразований СК поступательного движения V_2; w – направляющий вектор оси в начальный момент времени.

Таким образом, возможно определение геометрического места точек инструмента в любой момент времени, его нормалей и направляющих векторов, а также направлений и величин векторов скоростей движения инструмента относительно заготовки для любой рассматриваемой точки.

Выполняемый в системе кинематический анализ можно использовать в целом ряде практических применений: анализ геометрических параметров металлорежущих инструментов в статической и кинематической системах координат, оптимизация ориентации сменных многогранных пластин в корпусе инструмента, выявление интерференций нерабочих поверхностей инструмента с заготовкой, построение верификаторов управляющих программ с возможностью анализа точности обработки и т. д.

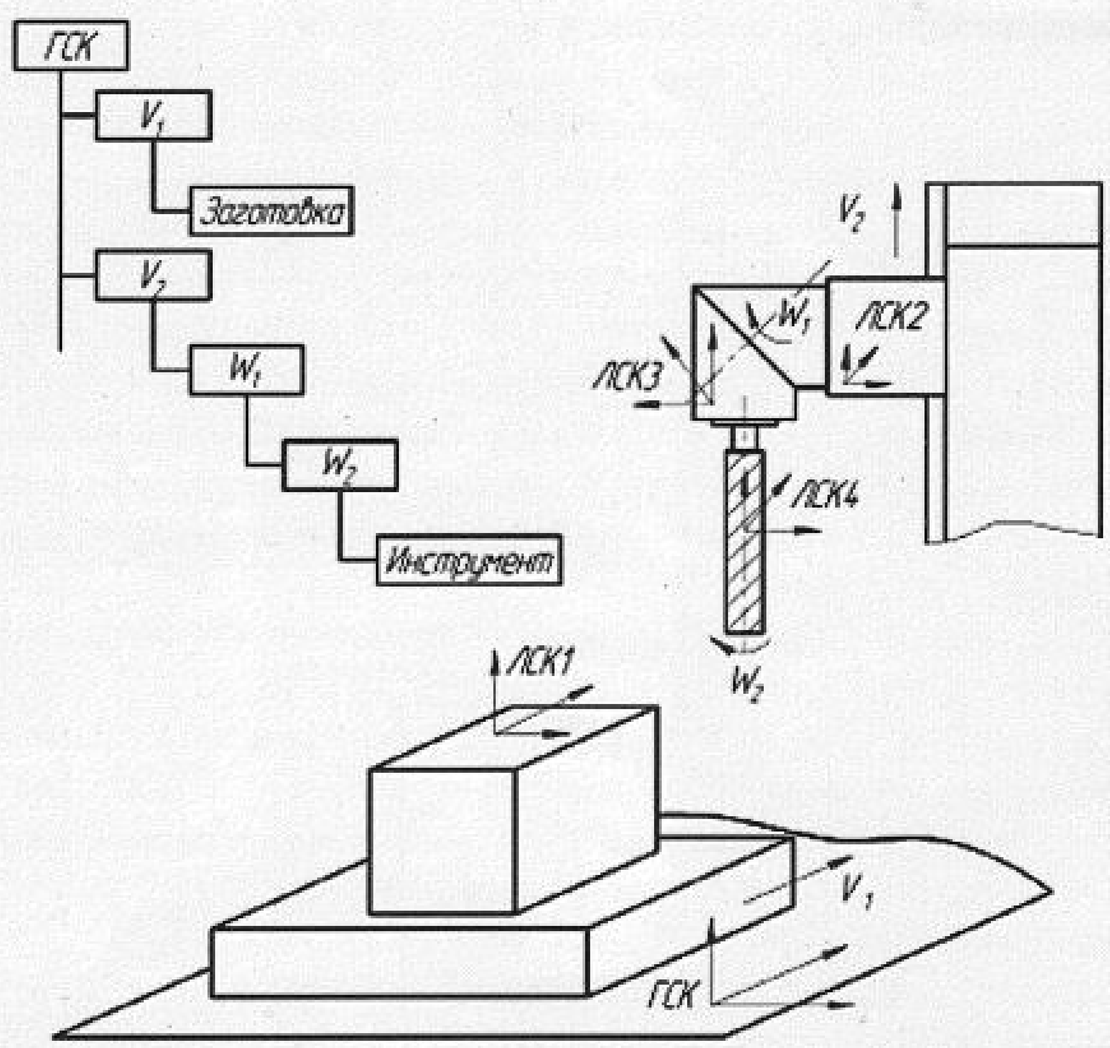


Рис. 2 Пример представления кинематической схемы резания

Список литературы

1. *Грановский Г.И.* Кинематика резания / И.И. Грановский. – Л.: МАШГИЗ, 1948. – 200 с.

2. *Вальтер А.В.* Автоматизированное проектирование сменных многогранных пластин с заданными геометрическими параметрами / Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоёмкие технологии в машиностроении: Материалы III международной конференции. – Тюмень, 2005. – С. 79-80.

8-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛООБРАБОТКА КАЗАНЬ

10-12 ДЕКАБРЯ 2008

Генеральный медиа-партнер
ЭКСПЕРТ ОБОРУДОВАНИЕ рынок. предложение. цены

Организатор:
ОАО «Казанская ярмарка»
При поддержке:
Министерства промышленности и торговли Республики Татарстан,
Ассоциации предприятий и предпринимателей Республики Татарстан,
Мэрии города Казани.

Россия, 420059, г. Казань,
Оренбургский тракт, 8,
тел/факс: +7 (843) 570-51-16, 570-51-11 (круглосуточно)
e-mail: pdvrt@bk.ru, korejvo@expokazan.ru
http://www.expomach.ru, www.expokazan.ru

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР ISO - 9001

КАЗАНСКАЯ ЯРМАРКА

НОВОСИБИРСКАЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА
МАШСЕРВИСПРИБОР

ООО «СТАНКИ РТМ»

Капитальный ремонт и модернизация электроприводов мод. "Размер2М-5-21", "Размер2М-5-21\11", "Размер2М-5-2",

Замена силовых ключей на IGBT модули

Замена силовых ключей на IGBT модули и установка цифровых систем управления

630087 г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 30, оф. 309
тел.: (383) 346-37-79, 212-03-13, факс: 346-39-81, 212-03-13
e-mail: msp@chpu.ru www.chpu.ru

Комплект: ИТО
– полезный инструмент для машиностроителей

«Комплект изданий «ИТО» о современном станкостроении и инструментальном обеспечении, системах ЧПУ, автоматизированном проектировании и о многом другом...

Подписка через агентства «РОСПЕЧАТЬ» – 81249 «Пресса России» – 42049

Подписка через «Издательство «ИТО»
по тел./факс:
(495) 366-98-00
e-mail: expo@ito-baza.ru
www.ito-news.ru

ИНФОРМАЦИЯ для пользователей: любителей и профессионалов об инструменте станках и оборудовании

СТАТЬИ о профессиональном, любительском, электрическом, ручном и специальном инструменте.

ОБЗОРЫ специализированных выставок и ярмарках, сообщения о знаменательных событиях и юбилеях членов клуба инструментальщиков, наших партнеров друзей и коллег

ПУБЛИКАЦИИ об истории инструмента, новинках техники и технологии, новых разработках и рационализации.

БИЗНЕС-ПРОГРАММА "PROMOTION TOOLS"

Содействие в организации и развитии малого и среднего бизнеса, поддержке российского производителя

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МИР
WORLD OF TOOLS

Первое российское информационное издание - журнал "ИМ" для членов "инструментального клуба": профессионалов и любителей, пользователей, производителей, поставщиков инструментов, специалистов смежных областей.

Целевая аудитория: руководители и инженеры производственных предприятий малого и среднего бизнеса; инструментальные компании; строительные фирмы; торговые организации; поставщики инструмента и оборудования; выставочные компании.

Круг тем: новые инструменты, станки и оборудование, современные российские и зарубежные технологии, изобретательство, выставочные проекты, вопросы и проблемы организации малого и среднего бизнеса.

Параметры: Формат А4, объем 64 полосы, тираж: 5000 экз., периодичность 1 раз в 2 месяца.

Распространение: подписка, целевая адресная рассылка по базе данных редакции, на специализированных и отраслевых выставках в России и за рубежом, на конференциях и семинарах, через издания - партнеры.

Россия, Москва, 123022, ул. Ходынская, дом 4, Редакция журнала "Инструментальный Мир"

телефон/факс 252 5385
моб. тел 8 926 206 3406
E-mail:isotclub@instrumir.ru
http://www.instrumir.ru

РАЗВИВАЯ ИДЕЮ, СОХРАНЯЯ ТРАДИЦИЮ!

MAGAZINE "INSTRUMENTALNY MIR"

Maintaining the traditions of similar editions the magazine will discuss the problems of support and development of small and medium business, encourage the project of regional exhibitions.

That's why our magazine "IM" intends to maintain and develop the idea - tool subjects, to find out new achievements and inventors to popularize subject of tools, scientific and technical achievements, to promote them successfully, to be a Navigator in the world of tools.

The subject of announcements and reports about international and regional specialized exhibitions in Samara, Yekaterinburg, Kiev remains invariable and the scale of participation of the "IM" in the exhibition will constantly extend.

According to the magazine's plan - to represent Russian "Club instrumentalschikov" at the famous international specialized exhibitions in Brno, Kologne, Milano, Frankfurt-on-Main, Paris, Vienna and Taybei.

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ[1]

А.И. СМИРНОВ, канд.техн.наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск

Структура любых кристаллических материалов содержит несовершенства кристаллического строения. Данные несовершенства принято называть дефектами кристаллического строения [1]. Дефекты структуры имеют различные размеры и морфологию, и, следовательно, по-разному влияют на механические свойства материалов.

Дефекты кристаллического строения по размеру удобно разделять на макро-, мезо- и микродефекты в соответствии с теорией иерархичности структурных уровней [1].

Количество дефектов структуры на микро-, мезо- и макроуровне различно и зависит от исходной обработки. В свою очередь, структура материалов оказывает решающее влияние на конструктивную прочность материалов при эксплуатации. Таким образом, именно дефекты структуры в конечном итоге определяют уровень механических свойств материалов. В данной работе изучено влияние микро- и мезодефектов структуры технического железа и углеродистых сталей на циклическую трещиностойкость.

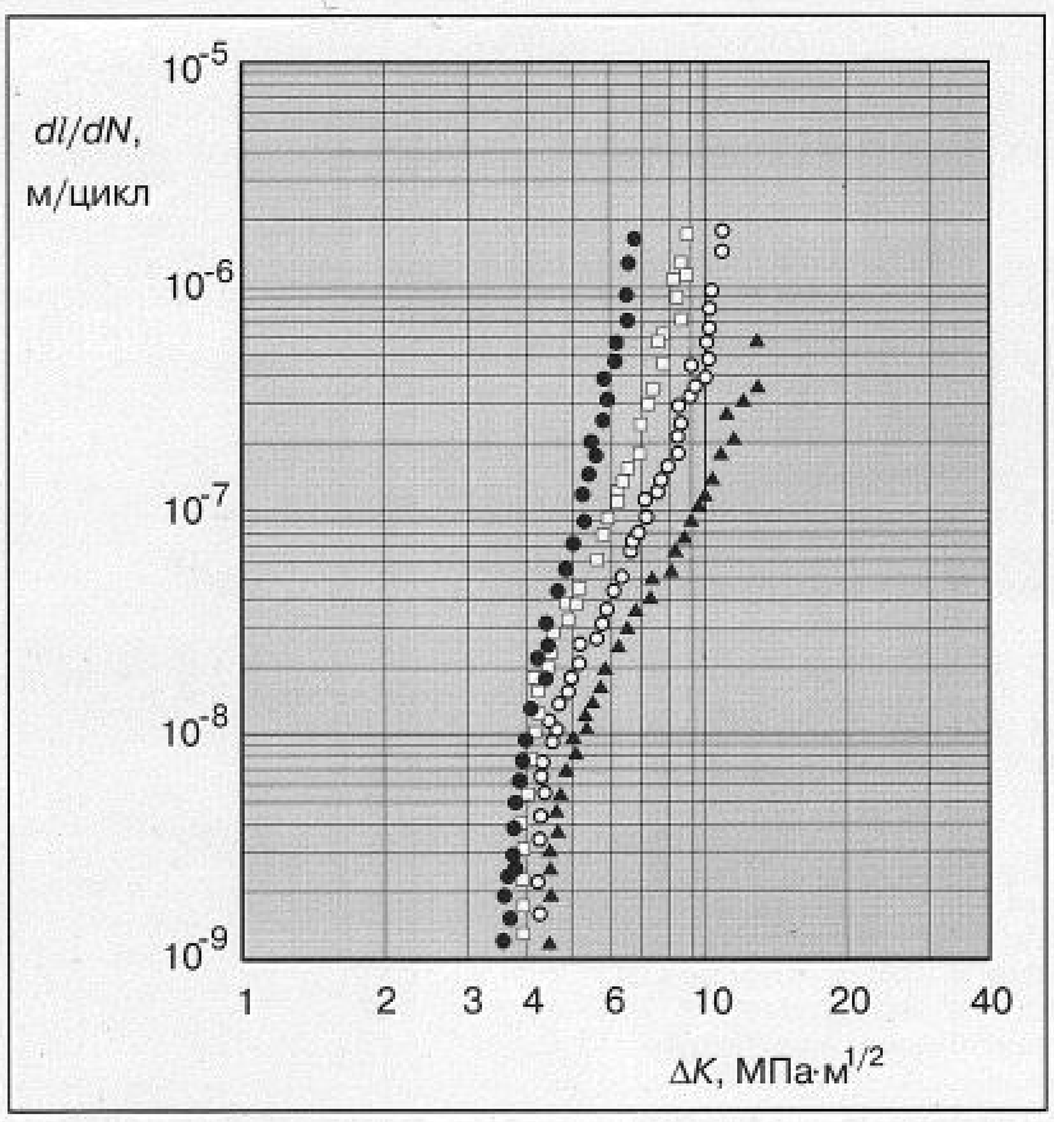


Рис. 1. Влияние количества растворенного в мартенсите углерода на КДУР:
▲ – 0,2%С; ○ – 0,45%С; □ – 0,8%С; ● – 1,0%С

Структуру углеродистых сталей, насыщенную микродефектами строения, получали при помощи закалки и последующего отпуска при температуре 180 °С. Количество создаваемых при этом микродефектов – растворенных в феррите атомов углерода варьировали содержанием углерода в стали. Для создания таких структур использовали углеродистые стали 20, 45, У8 и У10. На рис. 1 представлены кинетические диаграммы усталостного разрушения (КДУР) углеродистых сталей со структурой, насыщенной микродефектами кристаллического строения.

Как следует из анализа полученных зависимостей, по мере увеличения количества микродефектов кристаллического строения циклическая трещиностойкость сталей снижается. Изменение циклической трещиностойкости значительно на втором и, особенно, на третьем участках КДУР: при увеличении количества углерода от 0,2 до 1,0 % ΔK_{fc} (нагрузка долома образца при циклическом нагружении) снижается на 35...45 %, а ΔK^*, соответствующий скорости роста усталостной трещины 10^{-7} м/цикл, – на 30...35 %. В области низких амплитуд нагружения влияние количества микродефектов структуры на положение КДУР не так заметно: при увеличении количества углерода от 0,2 до 1,0 % ΔK_{th} (пороговое значение нагрузки, при достижении которой стартует циклическая трещина) снижается на 20 %.

Таким образом, углеродистые стали со структурой, насыщенной микродефектами кристаллического строения, обладают пониженной циклической трещиностойкостью как при низких, так и высоких скоростях роста усталостной трещины.

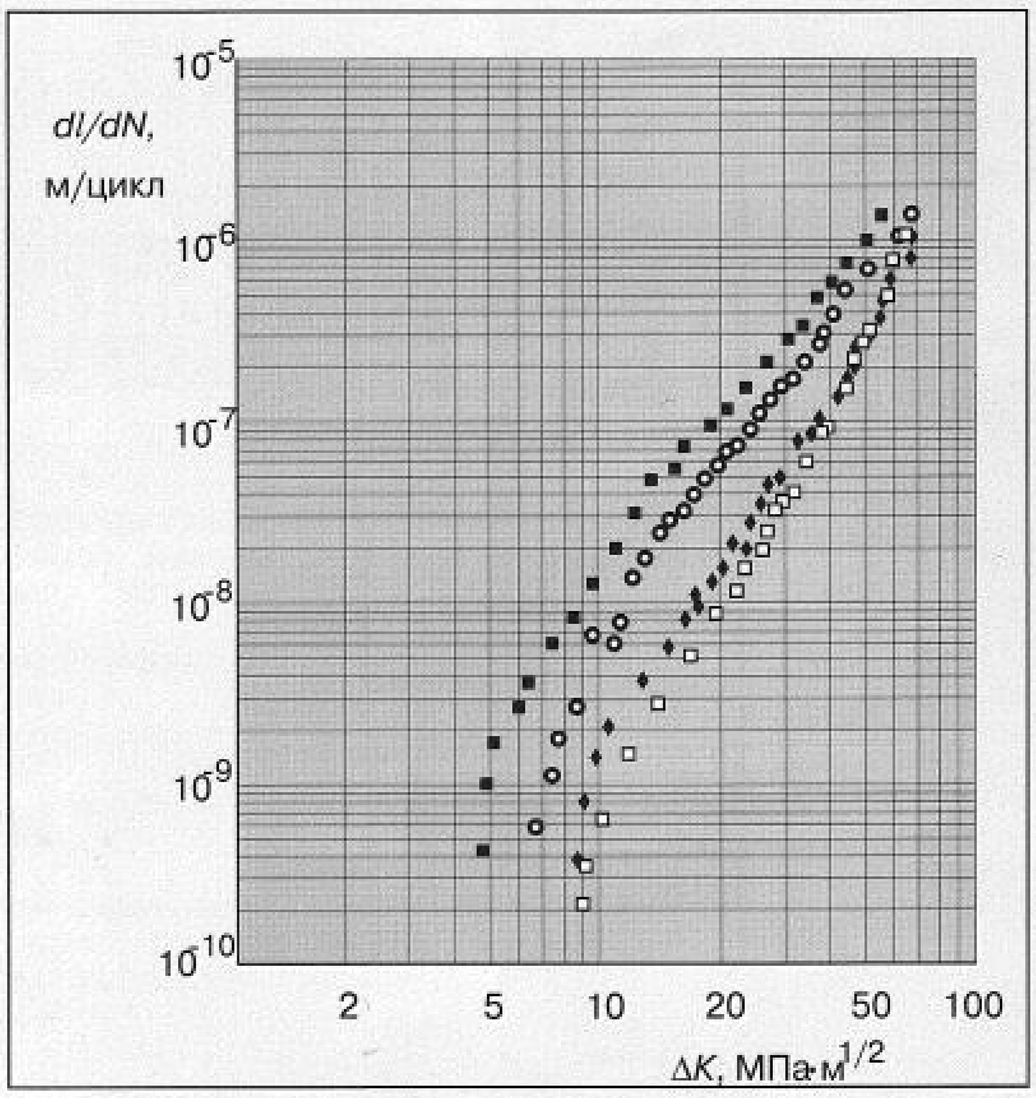


Рис.2. Влияние Степени холодной пластической деформации на КДУР стали 20: ■ – отжиг; ○ – деформация 10%; ♦ – деформация 25%; □ – деформация 40%

Дефектами кристаллического строения углеродистых сталей на мезоуровне являются дислокационно-

[1] Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы»

дисклинационные построения и частицы второй фазы (цементит). Структуры углеродистых сталей с мезодефектами строения можно создавать тремя способами воздействия: термическим, термопластическим и деформационным. Дислокационно-дисклинационные построения создавали в сталях 20, 30ХГСА и 45 методом холодной пластической деформации прокаткой со степенями обжатия 10, 25 и 40 %. Характер формирующихся при пластической деформации дислокационных структур изучен ранее [2].

При анализе результатов усталостных испытаний было выявлено существенное влияние характера дислокационных построений мезоскопического масштабного уровня на первый и второй участки КДУР (рис. 2). Увеличение степени дефектности кристаллического строения мезоструктуры за счет дислокационно-дисклинационных образований приводит к росту циклической трещиностойкости равновесной отожженной структуры всех сталей. Особенно это влияние заметно в области припороговой усталости, где рост ΔK_{th} достигает 40...50 %. На среднеамплитудном участке повышение циклической трещиностойкости не так ощутимо: ΔK^* увеличивается на 12...25 %.

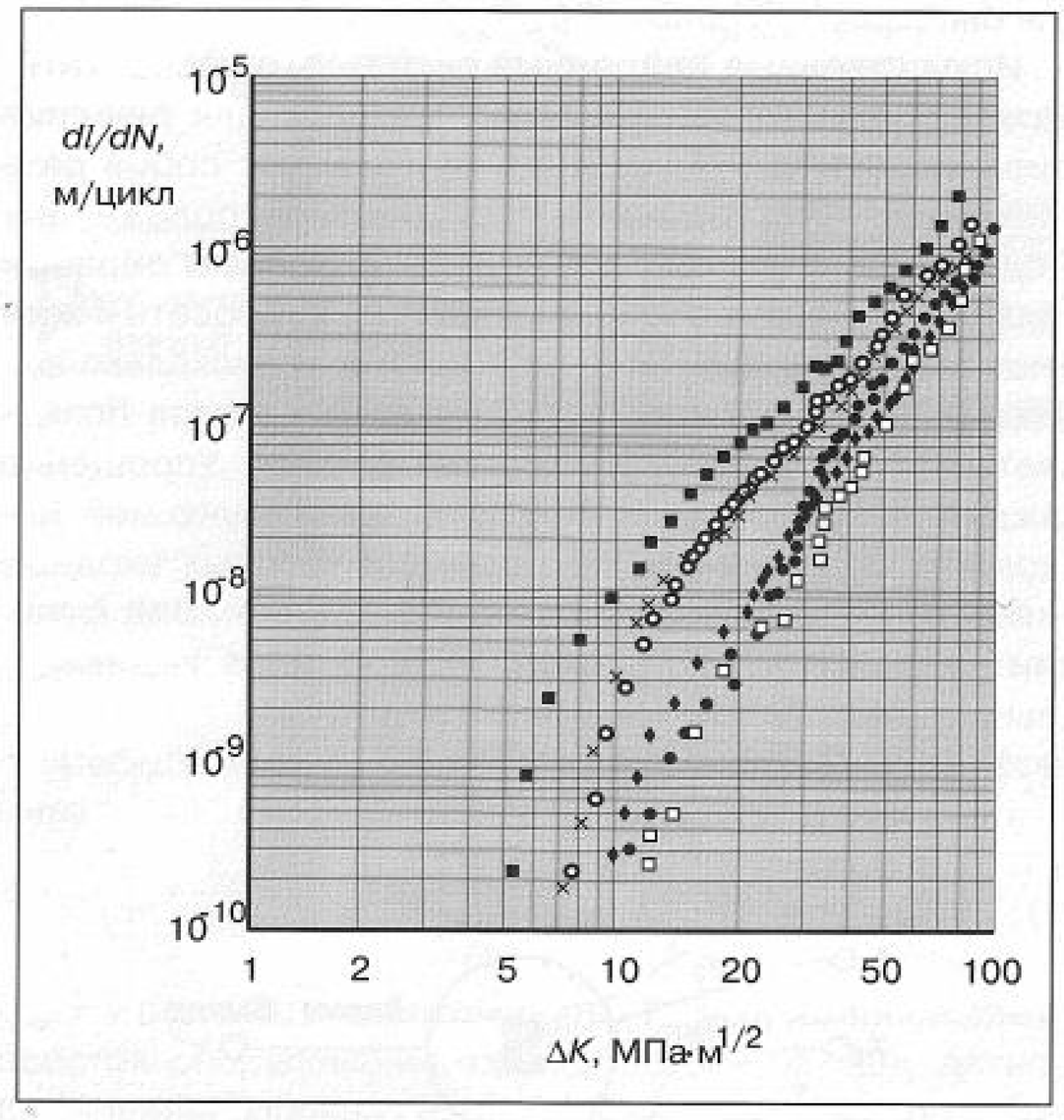


Рис. 3. Влияние степени пластической деформации на КДУР стали 30ХГСА: ■ – отжиг; ○ – деформация 10%; ♦ – деформация 25%; □ – деформация 40%; × – полигонизация; ● – полигонизация + деф.15%

Стали с полигональной структурой, созданной по режиму холодная деформация 10 % + отжиг при 550 °С в течение 1 часа, обладают такой же циклической трещиностойкостью и меньшими значениями прочности по сравнению со структурой, деформированной на такую же степень деформации без последующего нагрева (рис. 3). Процессы разупрочнения полигонизованной структуры, очевидно, связаны с перестроением дислокационной структуры и частичной аннигиляцией дислокаций леса, активируемыми при повышении температуры. Дополнительная пластическая деформация полигонизованной структуры повышает как параметры циклической трещиностойкости, так и прочность. Таким образом, можно заключить, что эффективными дислокационными барьерами, способствующими одновременному повышению как циклической трещиностойкости, так и статической прочности, являются структуры, формирующиеся при холодной деформации. Насыщение структуры мезодефектами кристаллического строения, создаваемыми ограниченной холодной пластической деформацией, является эффективным механизмом повышения таких показателей конструктивной прочности сталей, как прочность и циклическая трещиностойкость.

Другим видом мезодефектов структуры углеродистых сталей являются цементитные частицы. Количество и морфологию частиц второй фазы варьировали количеством углерода в стали и температурой отпуска после полной закалки. Использовали углеродистые стали 20, 45, У8 и У10. Увеличение количества углерода в стали при прочих равных условиях приводит к росту числа мезодефектов структуры – цементитных частиц, а повышение температуры отпуска приводит к изменению морфологии карбидов.

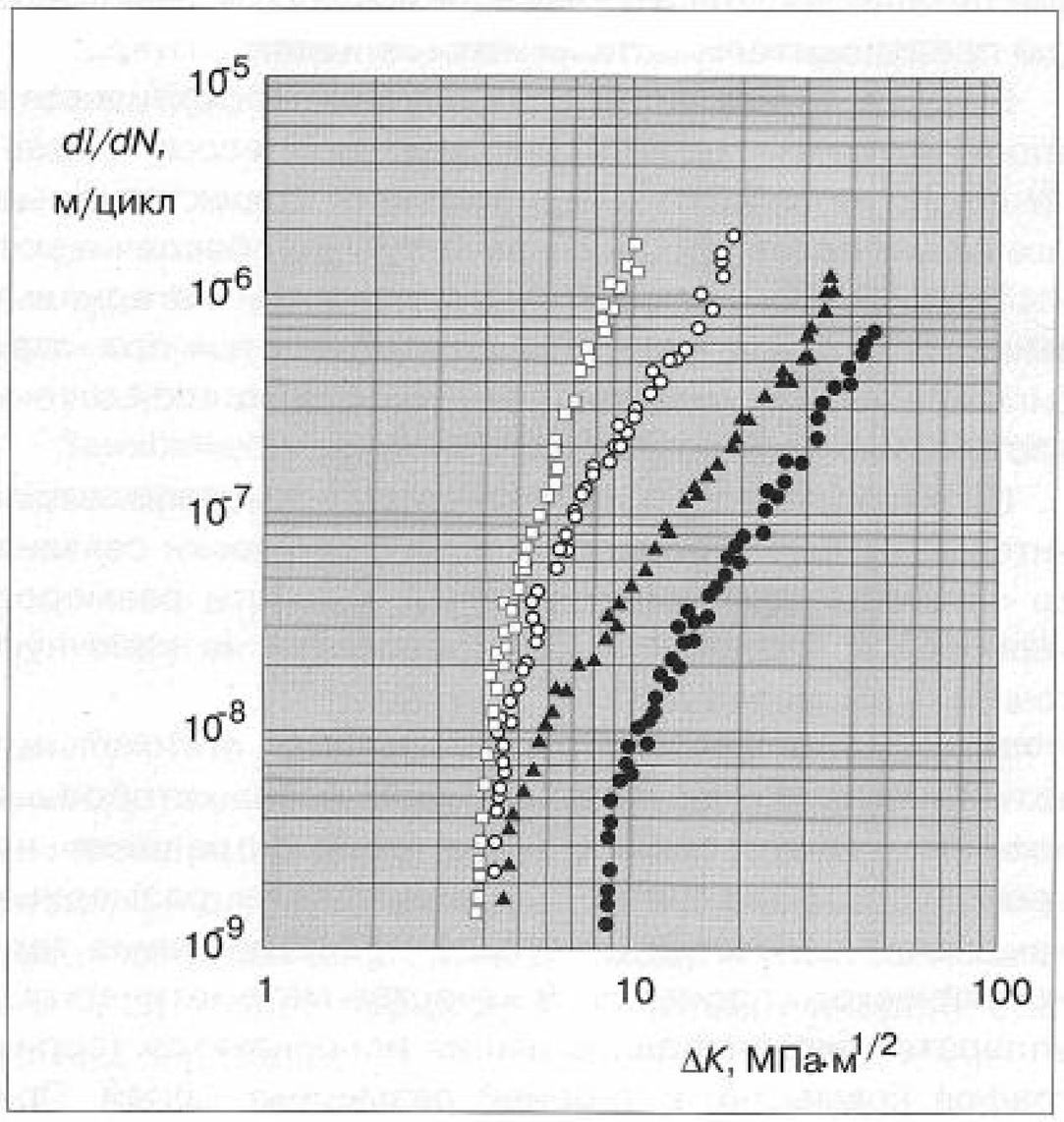


Рис. 4. Влияние температуры отпуска стали 45 на КДУР:
□ – температура отпуска 200 °С;
○ – температура отпуска 300 °С;
▲ – температура отпуска 400 °С;
● – температура отпуска 600 °С

На рис. 4 показано влияние температуры отпуска на циклическую трещиностойкость углеродистой стали 45. Упрочнение стали термическими методами оказывает значительное влияние на кинетику роста усталостной трещины. Из графика следует, что рост температуры отпуска приводит к повышению показателей циклической трещиностойкости. Это выражается в повышении как пороговой циклической трещиностойкости ΔK_{th}, так и циклической трещиностойкости при доломе ΔK_{fc}.

Повышение температуры отпуска от 200 до 400 °С слабо сказывается на уровне ΔK_{th}, однако при этом значительно возрастает ΔK_{fc}. При дальнейшем повышении

температуры отпуска наблюдается противоположная тенденция: ΔK_{fc} слабо повышается, однако резко возрастает ΔK_{th}.

Таким образом, повышение температуры отпуска приводит к сдвигу кинетической кривой в область высоких значений ΔK, т.е. повышению циклической трещиностойкости.

Список литературы

1. *Тушинский Л.И.* Структурная теория конструктивной прочности материалов / Л.И. Тушинский. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 400 с.

2. *Смирнов А.И.* Дислокационные структуры под поверхностью усталостного излома технического железа / А.И. Смирнов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2001. – № 4 (26). – С. 107-112.

*ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Д.В. ТУЛУПОВ, канд. техн. наук, доцент, А.Н. РОМАШЕВ, канд. техн. наук, доцент,
Бийский технологический институт АлтГТУ, г. Бийск

На стадии технологической подготовки производства осуществляется проектирование оптимальных технологических процессов, обеспечивающих получение деталей заданного качества и точности при высокой производительности их изготовления.

В то же время, во многих случаях эффективность проектируемых технологических процессов механической обработки недостаточна. Проектируемые технологические процессы зачастую не обеспечивают необходимого снижения себестоимости, материалоёмкости деталей, трудоёмкости обработки при стабильно высоком качестве поверхностного слоя и точности геометрических характеристик.

Сложность выбора из множества возможных вариантов технологического процесса фактически связана со сложным характером влияния точности размеров черновой и чистовой стадий обработки на конечную точность размеров детали.

Наилучшим решением для выбора оптимального варианта технологического процесса, которое не получило пока повсеместного распространения на производстве, является моделирование размерных изменений заготовки на стадии проектирования технологического процесса. В качестве математического аппарата такого моделирования используется теория графов совместно с теорией размерных цепей. При этом деталь в процессе ее изготовления рассматривается как геометрическая структура, состоящая из множества обрабатываемых поверхностей и размерных связей между ними.

Последовательность проведения размерных расчетов включает ряд этапов. Сначала технолог по операционным эскизам составляет размерную схему. Далее на основании схемы строится граф, вершинами которого служат все промежуточные поверхности одного координатного направления, а ребрами – размеры всех видов. На графе выявляются замкнутые контуры размерных цепей, после совместного решения которых вычисляются искомые технологические размеры.

Рассмотрение всевозможных вариантов размерных структур является весьма трудоемкой задачей для технолога и увеличивает время технологической подготовки производства. Это особенно ощутимо при составлении технологии обработки деталей, имеющих десятки и сотни размеров, входящих в размерные цепи.

Одним из возможных путей решения указанной проблемы является применение нейросетевых технологий для синтеза размерных структур.

Искусственные нейронные сети — это набор математических и алгоритмических методов для решения широкого круга задач. Они представляют собой сеть элементов — искусственных нейронов, расположенных в один либо несколько слоев, определенным образом связанных между собой. Как правило, нейросеть имеет множество входных каналов и один или несколько выходных. Большое количество входных каналов позволяет вести обработку множества данных. Упрощенно каждый нейрон (рис.1) можно назвать функцией нескольких переменных, при помощи которых входные сигналы преобразуются в выходной сигнал. Вид функции нейронов каждого слоя определяется индивидуально от постановки требуемой задачи.

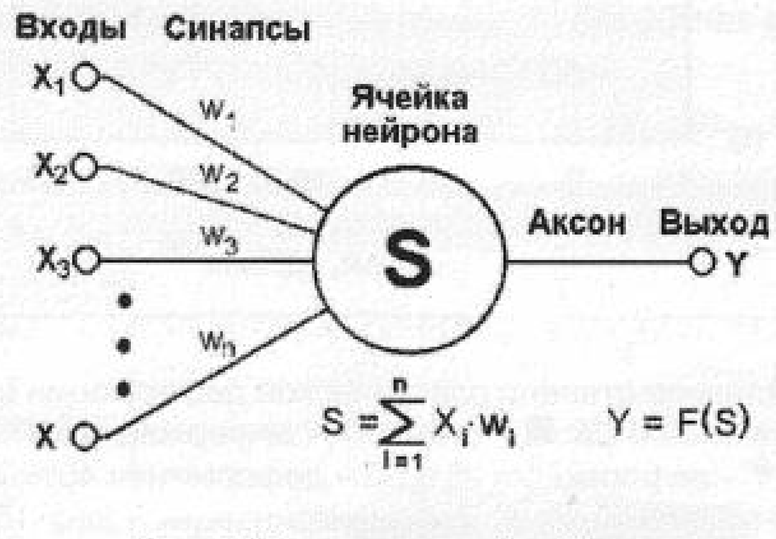


Рис.1. Искусственный нейрон

К основным преимуществам нейросетей можно отнести высокую надежность, параллельность вычислений, адаптивность, помехоустойчивость, толерантность к ошибкам, способность к обучению, решение задачи различной специфики и трудоемких задач оптимизации.

В качестве входных параметров для нейросети при ее использовании для технологических расчетов могут быть: информация с чертежа детали (конструкторские размеры и точность их выполнения), тип технологического оборудования для производства изделия, вид исходной заготовки. Выходным параметром будет раз-

мерная структура технологического процесса (рис.2).

Технологу необходимо обучить нейросеть на примерах отработанных технологий типовых деталей и использовать ее в дальнейшем для синтеза размерных структур деталей данного типа.

Такой подход может быть реализован на многих современных CAD и CAM системах. Более того, данный метод может стать основой диалоговой графической CAPP проектирования маршрутной технологии.

Таким образом, применение нейронных сетей позволяет создать оптимальную размерную структуру технологического процесса. Параллельность вычислений нейросети обеспечивает высокую скорость разработки структур, значительно сокращает время технологической подготовки производства и позволяет дать гарантированное заключение о целесообразности технологического процесса с точки зрения достижения требуемой точности размеров детали.

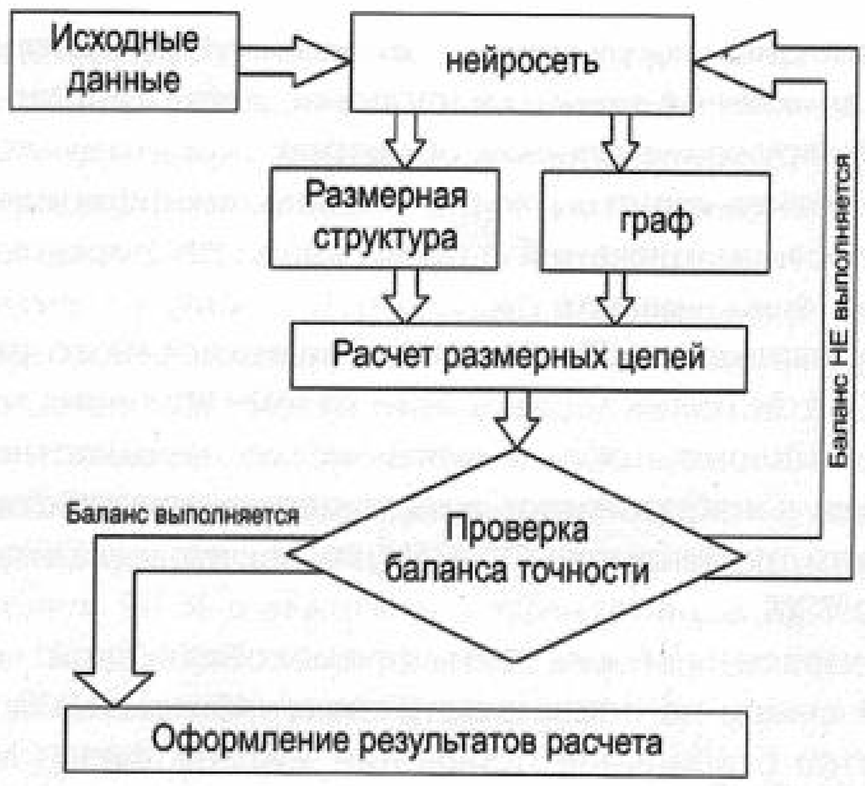


Рис.2. Схема алгоритма синтеза и расчета размерных структур

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ[1]

А.Г. ТЮРИН, канд. техн. наук, Н.В. ПЛОТНИКОВА, канд. техн. наук, В.Г. БУРОВ, профессор, канд. техн. наук, С.В. ВЕСЕЛОВ, аспирант, Е.Д. ГОЛОВИН, магистрант, НГТУ, г. Новосибирск

Развитие машиностроения основывается на создании новых материалов с высокой конструктивной прочностью, в том числе материалов с упрочняющими покрытиями. Защитные покрытия, обеспечивающие новые свойства, позволяют повышать эксплуатационную стойкость деталей машин и элементов конструкций. Особое место среди материалов, применяемых для нанесения покрытий, занимают твердые сплавы – композиционные материалы, имеющие в качестве упрочняющей фазы сверхтвердые тугоплавкие частицы. Использование вольфрамокобальтовых твердых сплавов для изготовления режущих и деформирующих элементов обрабатывающего инструмента позволило повысить производительность металлообработки в десятки раз. Механические и эксплуатационные свойства вольфрамокобальтовых покрытий в значительной степени зависят от их строения. При формировании покрытия важную роль играет соотношение между кобальтом, вольфрамом и углеродом (связанным и свободным). Недостаток углерода в спекаемой композиции приводит к образованию сложных карбидов, резко снижающих механические характеристики и эксплуатационные свойства. Избыток углерода приводит к выделению свободного графита, снижающего твердость материала и являющегося источником зарождения трещин.

Цель работы: исследование возможности формирования бездефектного переходного слоя (в структуре которого отсутствуют сложные карбиды и свободный углерод) между покрытием и среднеуглеродистой сталью методом предварительного борирования основного металла; исследование влияния режимов предварительного борирования основного металла на показатели циклической трещиностойкости образцов с покрытиями.

В качестве объекта исследования была выбрана среднеуглеродистая конструкционная сталь 45 в отожженном состоянии и после борирования. В качестве материала покрытия использовали твердосплавную порошковую смесь карбида вольфрама и кобальта (ВК6) с содержанием кобальта 6 масс. %. По гранулометрическому составу порошок соответствовал классу М (частицы фракции 1...3 мкм). Борирование проводили в герметичных контейнерах при температурах 850, 900, 950, 1000 оС в течение 6 часов. Затем на стальные образцы в виде пластин толщиной 2,5 мм наносился шликерный осадок из порошковой смеси ВК6. Спекание осадка проводили в вакуумной печи СШВЭ-1,25 при температуре появления жидкой фазы. Скорость нагрева – от 1 до 4 °С/с, время выдержки при температуре жидкой фазы 30 с, скорость охлаждения – от 0,08 до 0,6 °С/с, вакуум – 1.10-2 ... 5.10-4 Па.

Из полученных композиций изготавливались поперечные микрошлифы, на которых исследовали структуру и микротвердость поверхностного слоя (покрытия, переходной зоны и основного металла с измененной структурой). Металлографические исследования проводились с использованием оптических микроскопов NU-2E и Zeiss AXIO Observer Alm. Определение фазового состава покрытия и переходного слоя осуществлялось на установках ДРОН-3М и ДРОН-SEIFERT-RM4 (R = 192 мм, CuKα-излучение, Ni-фильтр, счетчик сцинтилляционный, фокусировка Брэгга-Брентано).

Испытания по определению параметров усталостной трещиностойкости проводили на установке, реализую-

[1] Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-08-00621-а.

щей мягкий цикл нагружения, т.е. режим, при котором заданной величиной является нагрузка, действующая на образец. Нагружение плоских образцов осуществлялось по схеме трехточечного изгиба. Размах коэффициента интенсивности напряжений рассчитывали по формулам, представленным в работе [1].

Оценку характера объемного и поверхностного разрушения материалов проводили путем изучения поверхности излома, полученного после усталостного разрушения в лаборатории динамических воздействий Института гидродинамики СО РАН, на растровом микроскопе LEO 420.

В процессе нагрева вольфрамокобальтовой порошковой смеси на поверхности стали 45 при 1300 оС наблюдается стабильное появление жидкой фазы. Металлографические и дифрактометрические исследования фазового состава полученных композиций выявили четыре ярко выраженные характерные зоны (рис. 1):

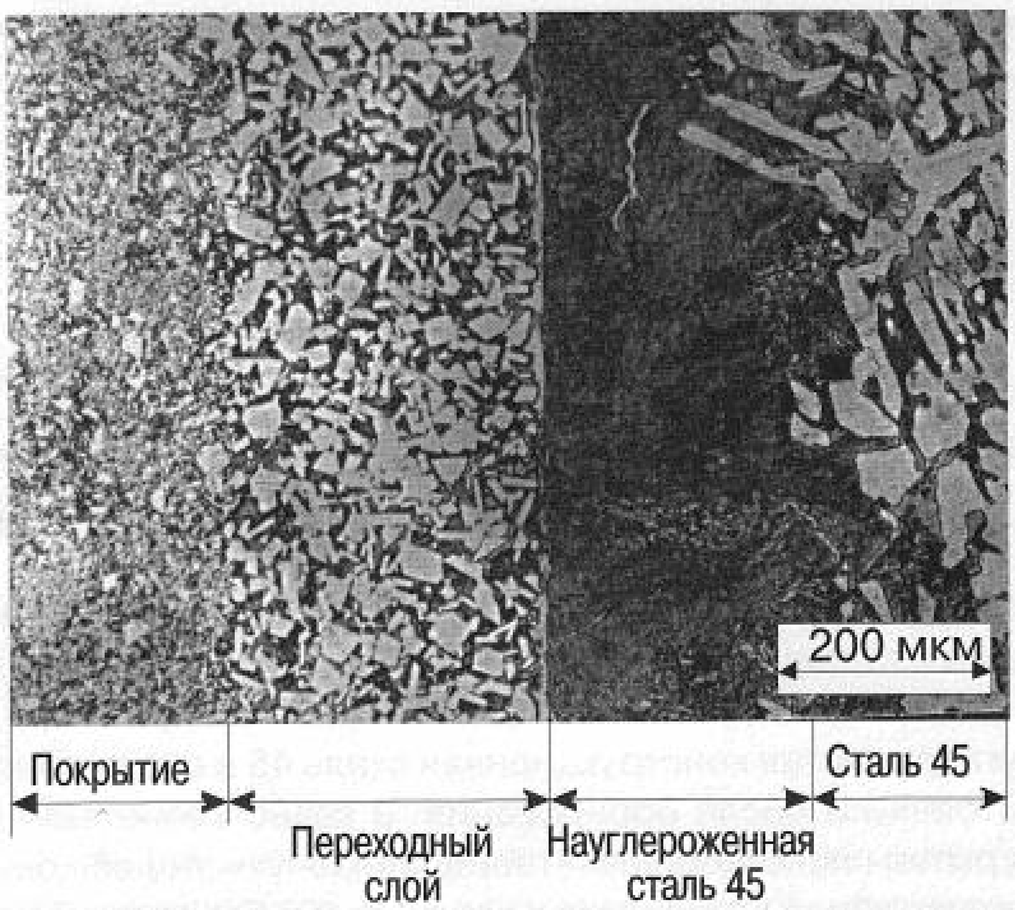


Рис. 1. Микроструктура композиции «Сталь – покрытие ВК6»
$T_{сп}$ = 1300 °С, $\tau_{сп}$ = 10 с

- покрытие, состоящее из частиц карбида вольфрама, расположенных в матрице, содержащей кобальт, железо, вольфрам;
- переходный слой, состоящий из частиц карбида вольфрама и частиц двойного карбида Fe_3W_3C;
- науглероженная область стали 45;
- исходная феррито-перлитная структура стали 45.

Таким образом, в процессе спекания вольфрамокобальтовой порошковой смеси при температурах выше 1200 °С имеет место взаимодействие частиц карбида вольфрама и железа с образованием сложного карбида Fe_3W_3C и углерода [2]. Диффузия углерода из покрытия в основной металл приводит к обеднению зоны химического взаимодействия углеродом. Это способствует сохранению частиц сложных карбидов в переходном слое размером от 40 до 60 мкм при охлаждении материала до комнатных температур. Наличие частиц такого размера в переходном слое существенно снижает его твердость и отрицательно влияет на конструктивную прочность сформированных композиций.

Проведенными исследованиями было показано, что эффективным воздействием на структуру твердосплавных покрытий, получаемых по технологии жидкофазного спекания, является снижение температуры спекания. Предварительное борирование основного металла позволяет снизить температуру устойчивого появления жидкой фазы от 1300 до 1175 оС за счет образования в поверхностном слое стали эвтектики – Fe – Fe2B.

Покрытия, сформированные на предварительно борированных сталях, имеют структуру твердого сплава с наличием частиц карбида вольфрама (рис. 2). В структуре переходного слоя можно встретить незначительное количество частиц сложного карбида (Fe3W3C) размером до 2 мкм. Минимальная толщина переходного слоя, полученного на стали 45 после предварительного борирования, составляет 20 мкм. Значения микротвердости сформированных покрытий находятся в пределах 12000...15000 МПа.

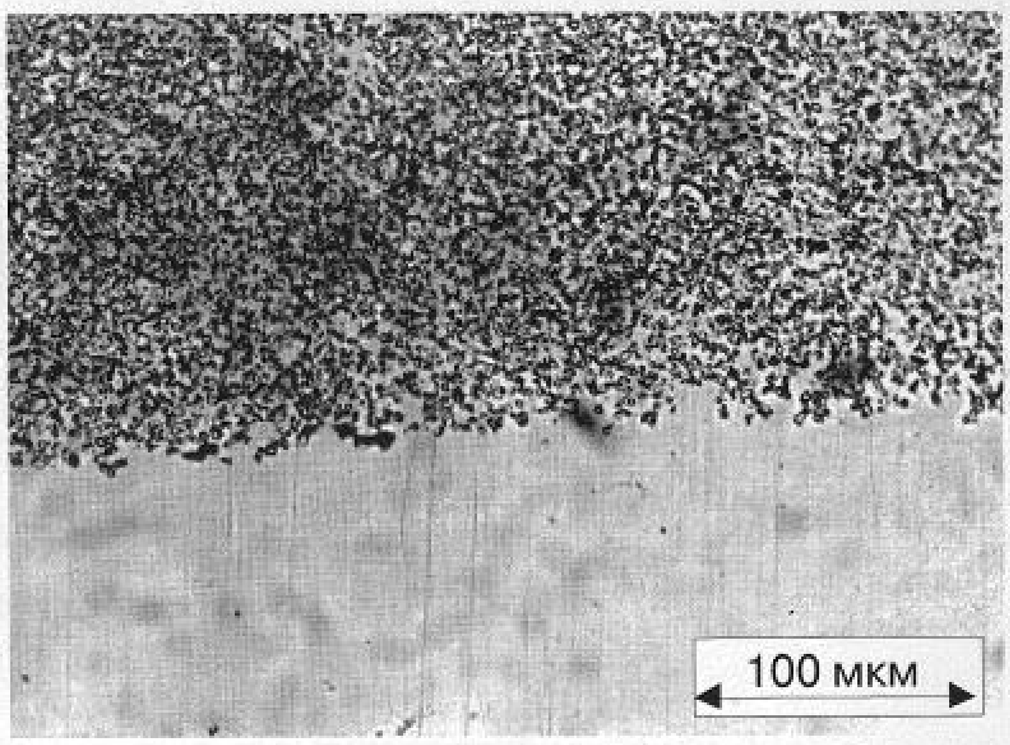


Рис. 2. Микростуктура композиции
«сталь 45 (борирование 900 °С, 6 ч) – покрытие ВК6»

Важными показателями конструктивной прочности материалов являются характеристики, отражающие их способность сопротивляться развитию усталостных трещин. В данной работе в качестве критериев усталостной трещиностойкости были использованы параметры поведения материалов, полученные на основе анализа кинетических диаграмм усталостного разрушения (КДУР). В работе [3] отмечается, что покрытие может оказывать двоякое влияние на надежность изделия в целом, при этом большую роль в формировании свойств композиции играет межфазная граница. В зависимости от свойств переходного слоя трещина в детали может распространяться как в материале покрытия и основном металле, так и по границе раздела.

Установлено отрицательное влияние температуры предварительного борирования основного металла (стали 45) на циклическую трещиностойкость композиции «сталь 45 (после борирования) – ВК6» (рис. 3). Так пороговое значение размаха коэффициента интенсивности напряжений у образцов с покрытиями уменьшается с 12,5 до 7,6 МПа*м$^{1/2}$, при увеличении температуры предварительного борирования от 850 до 1000 °С.

Сравнение полученных КДУР композиций «сталь 45 (после борирования) – вольфрамокобальтовое покрытие» с диаграммой усталостного разрушения стали 45 после отжига показывает, что значение коэффициента интенсивности напряжений образцов с покрытиями (полученных на стали 45 после борирования при 850, 900, 950 оС) выше значений ΔK_{th} для отожженной стали 45.

Повышение коэффициента интенсивности напряже-

ний (ΔK_{th}) вероятно связано с борированием основного металла. Так увеличение параметров усталостной трещиностойкости образцов после химико-термической обработки материала (цементация, борирование) наблюдали авторы работ [4, 5]. По данным работы Козырева Г.В., главной причиной повышения усталостной прочности материала являются остаточные сжимающие напряжения поверхностного слоя, сформированные в результате химико-термической обработки.

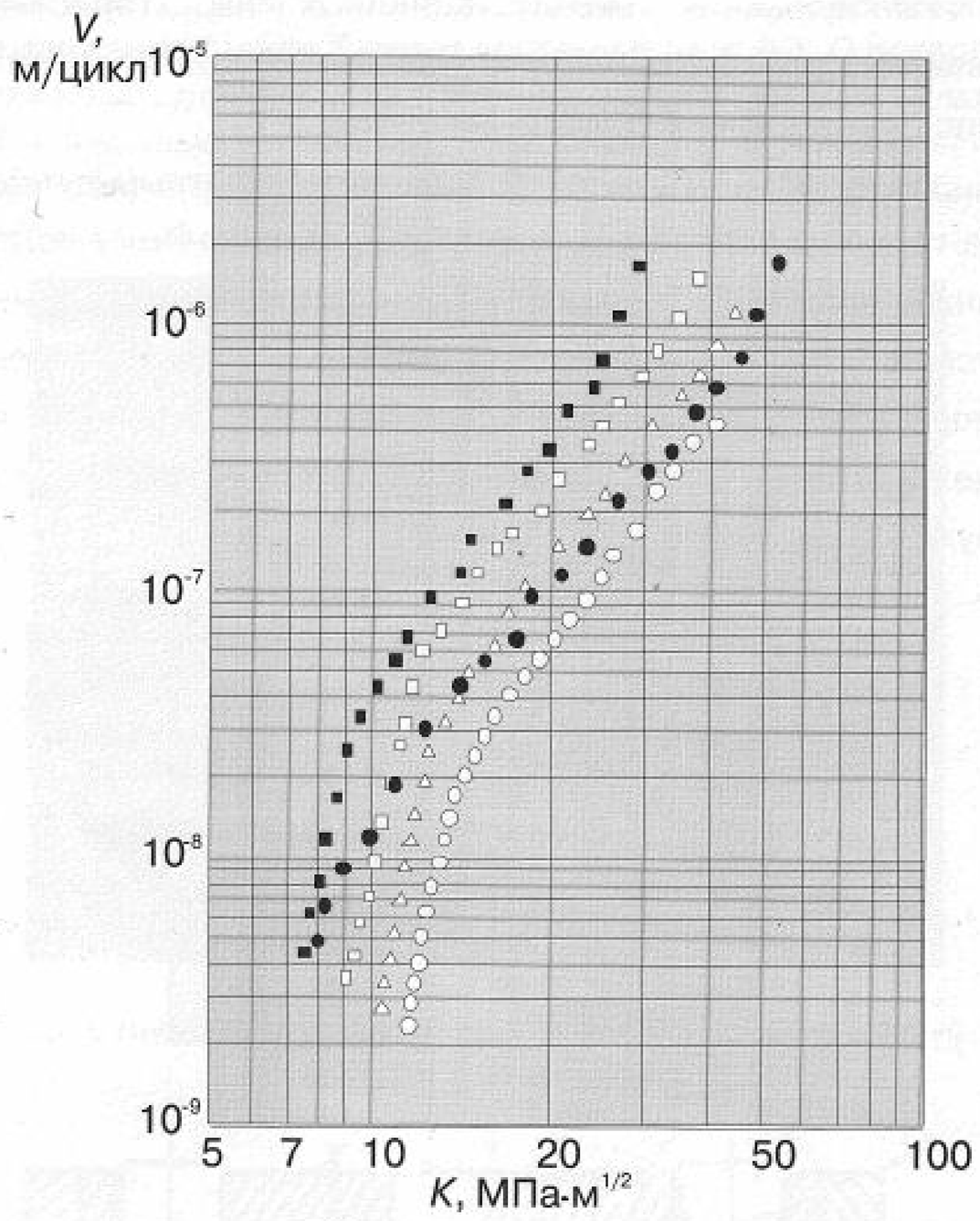


Рис. 3. Влияние температуры предварительного борирования стали 45 на КДУР образца с покрытием:
● – отжиг 900 °С без покрытия; ○ – борирование 850 °С, 6 ч; △ – борирование 900 °С, 6 ч; □ – борирование 950 °С, 6 ч; ■ – борирование 1000 °С, 6 ч;

Изучение поверхности излома композиции «сталь 45 (борирование 850 оС, 6 ч) – вольфрамокобальтовое покрытие» показало, что фронт распространения трещины основного металла и покрытия опережает разрушение переходного слоя. Схема распространения фронта усталостной трещины и фрактограмма излома представлены на рис. 4.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Эффективным методом воздействия на структуру твердосплавных покрытий, получаемых по технологии жидкофазного спекания, является предварительное борирование основного металла. Минимальная толщина переходного слоя, полученного на стали 45 после предварительного борирования при 900 оС, составляет 20 мкм. При этом микротвердость сформированных покрытий достигает 15000 МПа.

2. Коэффициент интенсивности напряжений образцов с покрытиями полученными на стали 45 после борирования при 850, 900, 950 °С, выше значений ΔK_{th} для отожженной стали 45 (8 МПа*м$^{1/2}$) и составляет 12,5, 11,3 и 9 МПа*(м)$^{1/2}$ соответственно.

Список литературы

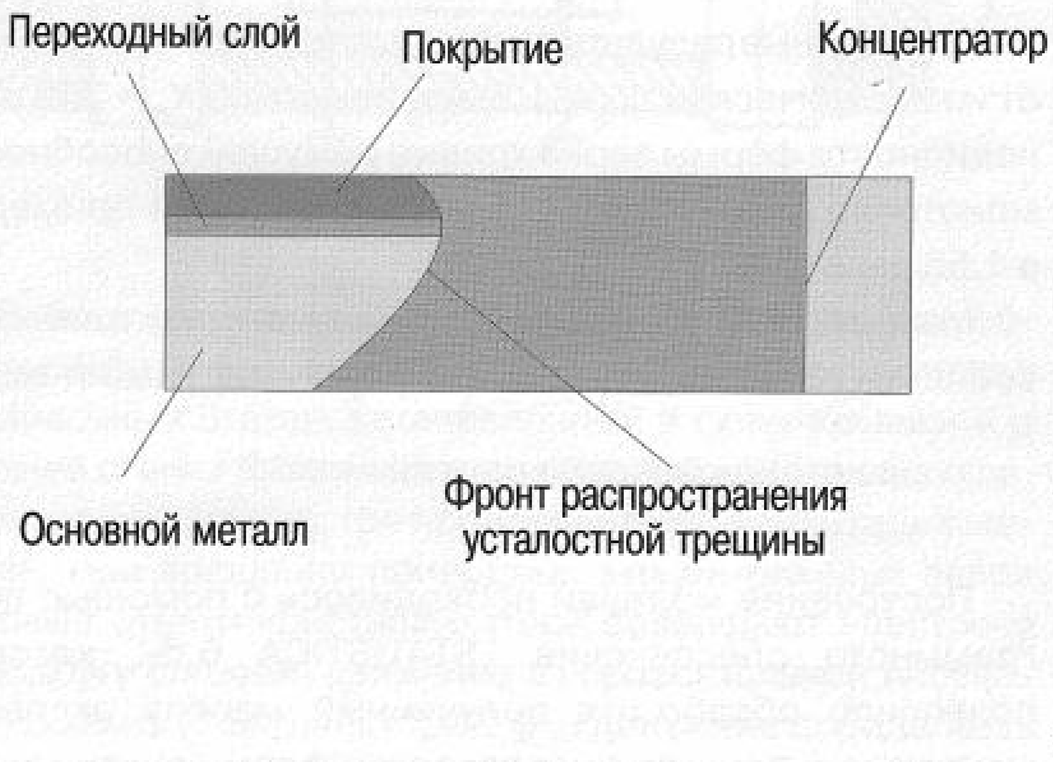
1. *Механика* разрушения и прочность материалов: справ. пособие в 4 т. / под. ред. В.В. Панасюка. – Киев: Наукова думка, – 1988 – 1990. – Т.4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – 1990. – 680 с.

2. *Тюрин А.Г.* Исследование особенностей формирования твердосплавных покрытий на поверхности технического железа / Физическая мезомеханика. – Т.7. – Ч.2. – 2004. – С. 209–211.

3. *Тушинский Л.И.* Методы исследования материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. – М.: Мир, 2004. – 384 с.

4. *Козырев Г.В.* Усталость упрочненных цементацией сталей при ударных нагрузках: Автореф. дис. канд. техн. наук.- Томск, 1972. – 18 с.

5. *Кулик А.Я.* Исследование влияния циклического нагружения на изменение свойств сталей подвергнутых химико-термической обработке: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Минск, 1971. – 18 с.



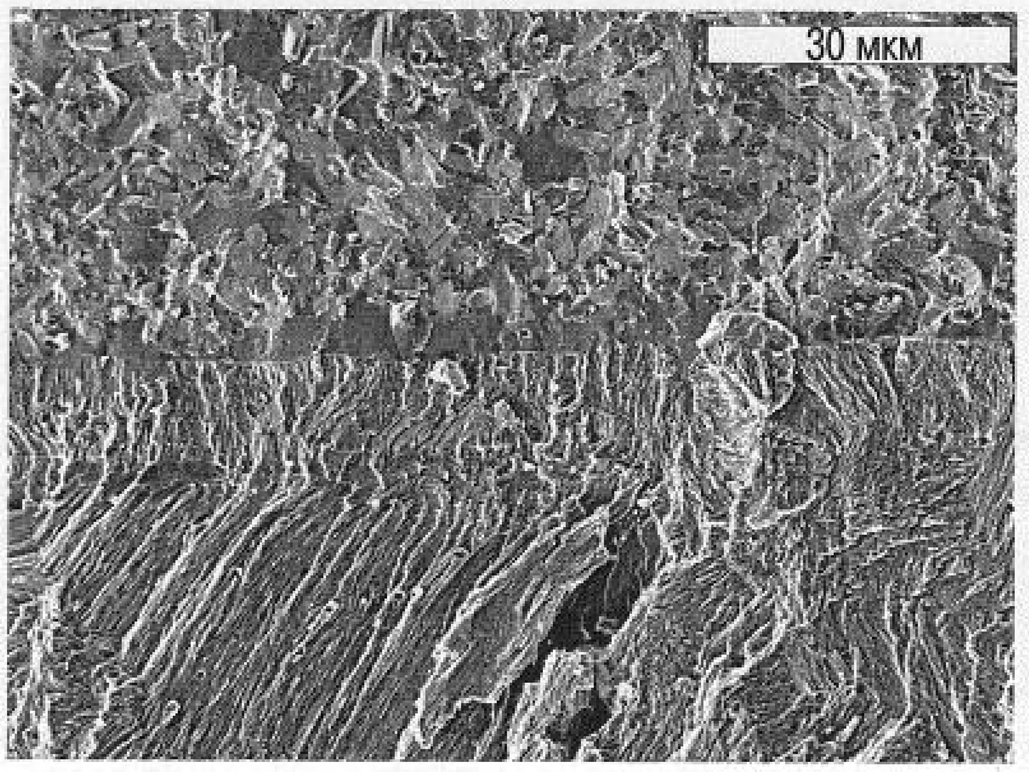


Рис. 4. Схема распространения фронта усталостной трещины и фрактограмма излома после усталостного разрушения композиции «сталь 45 (борирование 850 °С, 6 ч) – покрытие ВК6»

*ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЛЕПЕСТКОВЫХ КРУГОВ

Д.Б. ШАТЬКО, доцент, канд. техн. наук, КузГТУ, г. Кемерово

Для изучения влияния формы и геометрии зерна на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов была проведена работа по их проектированию и изготовлению партии опытных образцов, содержащих в своей структуре зерна с контролируемой формой. В ходе этой работы были решены следующие задачи:

- установлены особенности функционирования шлифовальных зерен с различной формой в лепестковом круге;

- установлены закономерности распределения шлифовальных зерен, используемых при изготовлении лепестковых шлифовальных кругов, по форме в зависимости от марки, зернистости и производителя;

- определено влияние формы шлифовальных зерен на выходные параметры обработки лепестковыми кругами – режущую способность, износ, силы резания, температуру процесса шлифования и шероховатость обработанной поверхности;

- разработаны математические модели, отражающие влияние коэффициента формы шлифовального зерна ($K_ф$) на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов.

Изучение вопросов сепарации абразивных материалов по признаку формы показало, что шлифовальные зерна, используемые при изготовлении лепестковых кругов, имеют значительный разброс по признаку формы от изометрической разновидности со средним коэффициентом формы $K_ф$ = 1,2 до игольчатой (пластинчатой) разновидности $K_ф$ = 2,2.

Таким образом, учитывая большое влияние формы шлифовальных зёрен на эксплуатационные характеристики инструмента (в частности износостойкость, режущую способность и пр.), важно правильно её оценивать и использовать.

Для получения опытной партии лепестковых кругов была разработана специальная конструкция компактной линии для производства шлифовальных шкурок и термокамера для их последующей сушки. Из готовых лепестков изготовлена опытная партия экспериментальных лепестковых кругов КЛ 150х30х32 13А40Н [$K_ф$] С2 А, на конструкцию которых получен патент РФ № 2240224. Экспериментальные лепестковые круги выполнены из шкурки, содержащей отсортированные по форме абразивные зерна, которые упорядоченно расположены относительно основы лепестка (рис. 1).

Были изготовлены три типа экспериментальных кругов: с изометрической, промежуточной и игольчатой формой зерна.

Исследования эксплуатационных характеристик опытных лепестковых шлифовальных кругов проводились на плоскошлифовальном станке 3Г71.

На начальном этапе исследований опытным путем (а также на основе рекомендаций, выявленных в ходе аналитического обзора) были определены исходные условия проведения испытаний, которые оставались постоянными в течение всего хода исследований с целью обеспечения сопоставимости полученных результатов.

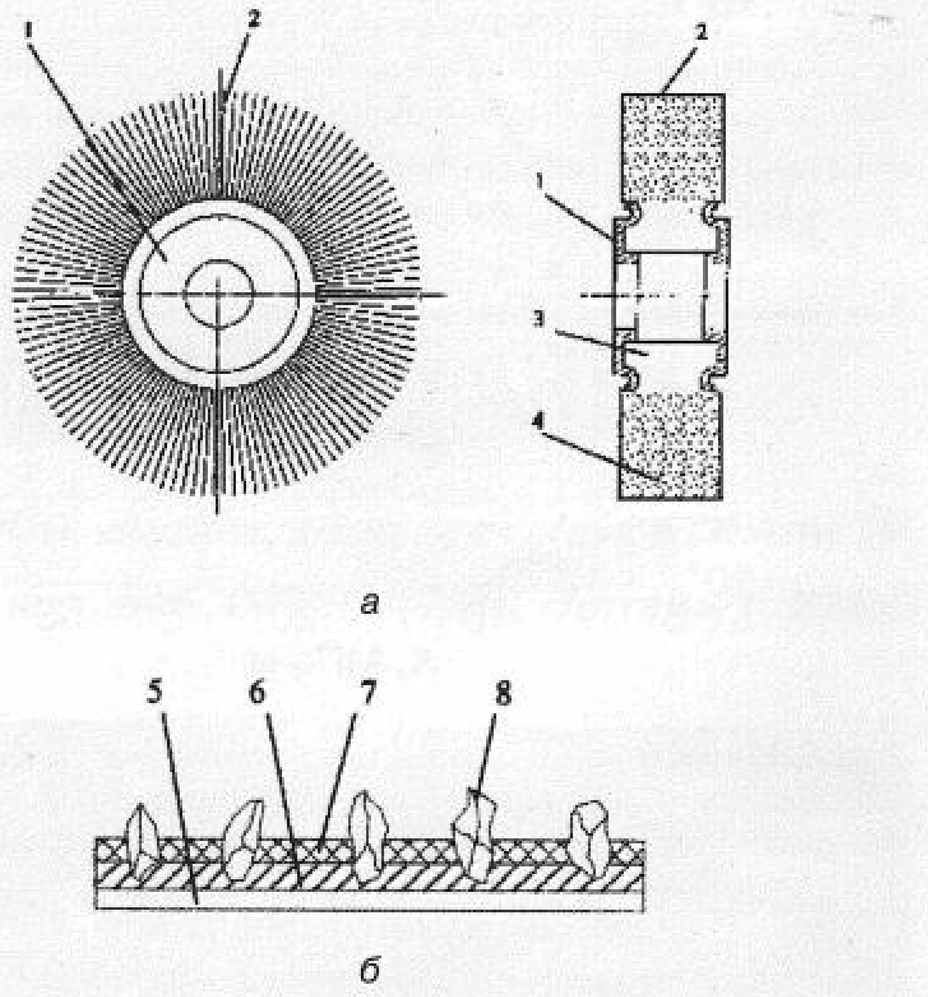


Рис. 1. Конструкция лепесткового круга:
а – общий вид; б – участок лепестка из зерен с контролируемой формой [Патент № 2240224]

Полученные результаты показывают, что при переходе от изометрической ($K_ф$ = 1,2) к игольчатой ($K_ф$ = 2,2) разновидности формы зерна кривые режущей способности монотонно возрастают на всех видах сталей примерно в 1,56 раза (рис. 2).

Математическая модель зависимости режущей способности (Q) от коэффициента формы(Кф) имеет вид:

$$Q = \exp^{(0,79788 \cdot \ln(K_ф) - 1,70297)}.$$

Построение моделей проводилось с помощью программного обеспечения «STATISTICA 6.0», которое позволило обработать полученный массив экспериментальных данных и исследовать форму связи между выходными параметрами процесса шлифования и коэффициентом формы (Кф) шлифовального зерна.

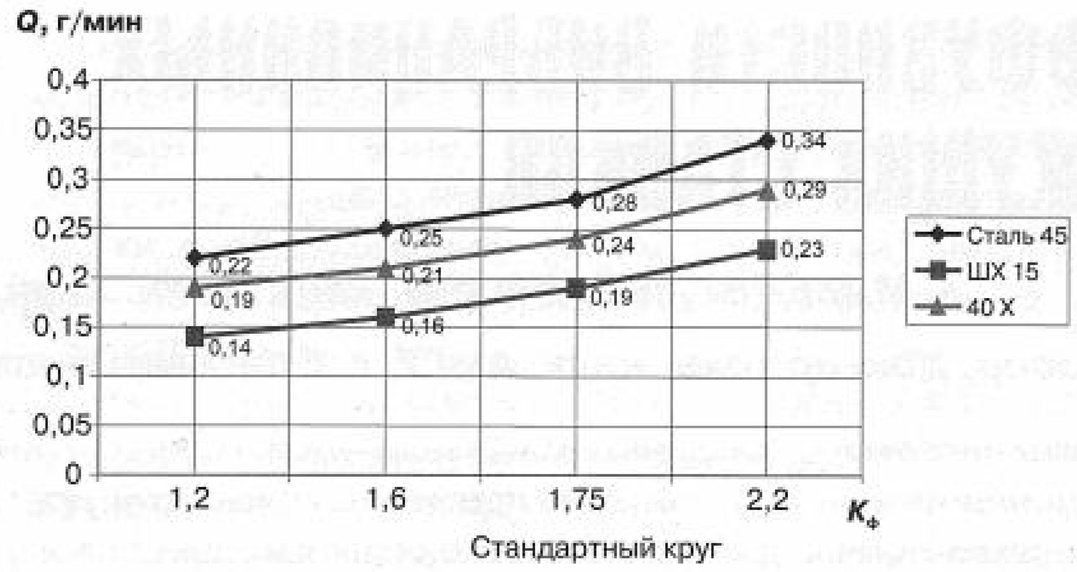


Рис. 2. Зависимость режущей

Исследование износа лепестковых кругов (рис. 3) показывает, что при переходе от кругов с изометрической формой зерна ($K_ф$ = 1,2) к кругам с игольчатыми зернами ($K_ф$ = 2,2) износ инструментов возрастает порядка в 1,3 раза.

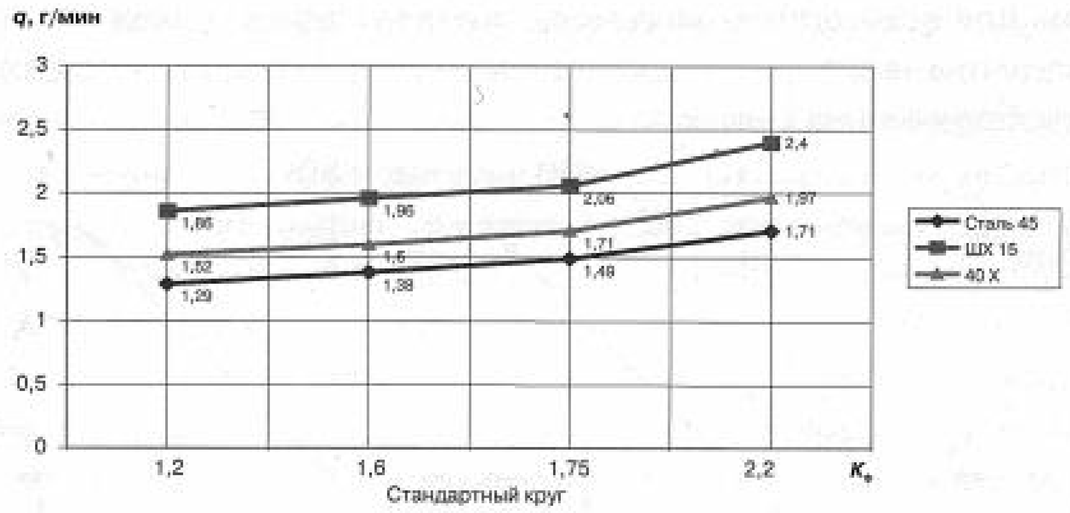


Рис. 3. Зависимость износа круга способности от $K_ф$ зерна от $K_ф$ зерна

Модель зависимости износа лепесткового круга (q) от коэффициента формы ($K_ф$) выглядит следующим образом:

$$q = \exp^{(0,464601 \cdot \ln(K_ф) + 0,146439)}.$$

На рис. 4 представлен график влияния коэффициента формы ($K_ф$) шлифовального зерна на составляющие силы резания (P_y и P_z), возникающие при шлифовании: $P_y, P_z = f(K_ф)$.

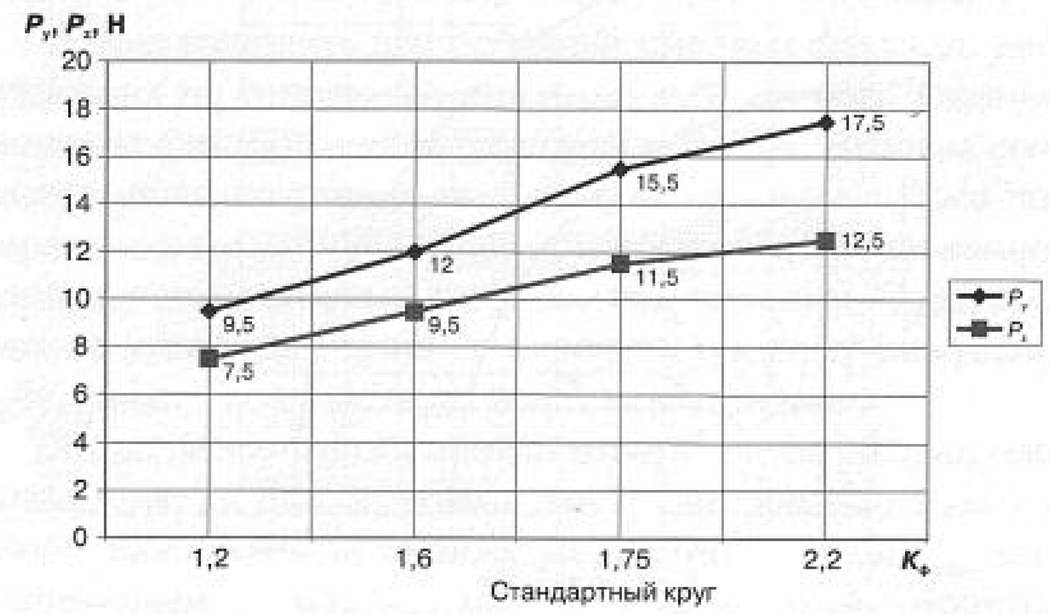


Рис. 4. Влияние Кф зерна

Анализ приведенных зависимостей говорит о том, что при переходе от кругов с изометрической формой ($K_ф$ = 1,2) к кругам с игольчатой формой ($K_ф$ = 2,2) радиальная составляющая силы резания возрастает в среднем в 1,8 раза, а тангенциальная составляющая возрастает в 1,66 раза.

Математические модели, описывающие влияние коэффициента формы шлифовального зерна ($K_ф$) на составляющие силы резания (P_y) и (P_z), имеют вид:

$$P_y = \exp^{(1,051355 \cdot \ln(K_ф) + 2,059028)},$$
$$P_z = \exp^{(0,878275 \cdot \ln(K_ф) + 1,869343)}.$$

Исследование зависимости температуры на поверхности обрабатываемой заготовки от коэффициента формы шлифовального зерна показывает, что процесс обработки кругами из зерен игольчатой формы сопровождается несколько большей температурой (порядка 15... 20 °С для применяемых режимов обработки), чем кругами из изометрических зерен.

Математическая модель зависимости температуры процесса шлифования (T°C) от коэффициента формы шлифовального зерна ($K_ф$) выглядит следующим образом:

$$T°C = \exp^{(0,700069 \cdot \ln(Kф) + 3,063496)}.$$

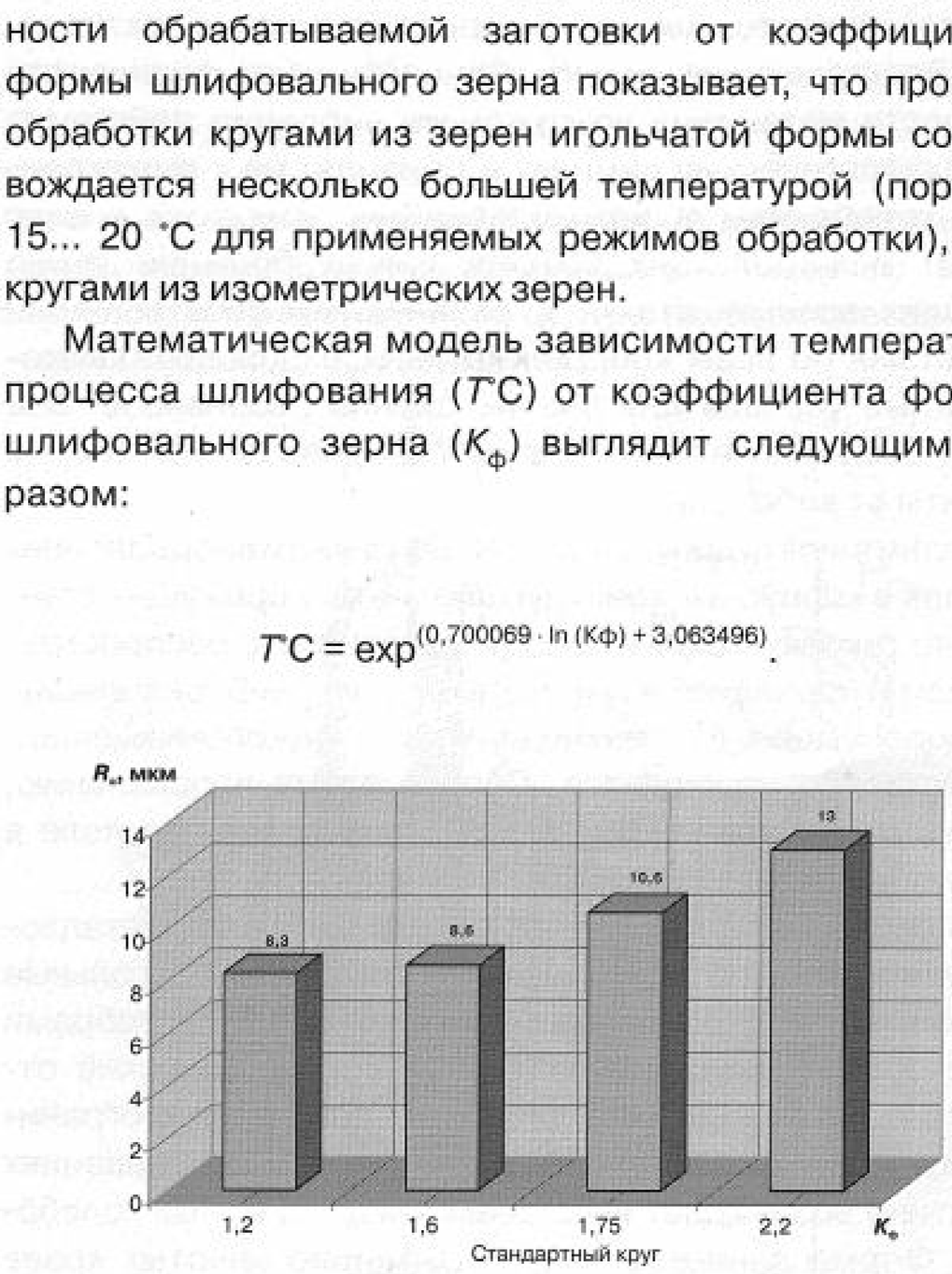


Рис. 5. Влияние $K_ф$ зерна на составляющие силы резания на шероховатость поверхности

Гистограмма, изображенная на рис. 5, характеризует влияние коэффициента формы шлифовального зерна на шероховатость обработанной поверхности. Из нее видно, что обработка кругами из зерен изометрической формы позволяет достичь более высокого качества обработанной поверхности, чем кругами с игольчатой формой зерен.

Модель, описывающая зависимость параметра шероховатости (R_a) от коэффициента формы ($K_ф$), имеет вид:

$$R_a = \exp^{(0,757623 \cdot \ln(K_ф) + 1,919568)}.$$

Проведенная работа наглядно показывает, что введение в конструкцию лепесткового круга упорядоченно расположенных абразивных зерен с конролируемой формой активно влияет на процесс шлифования.

О ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ДИФФУЗНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

А.М.МЕДВЕДЕВ, доцент, канд. техн. наук,

Г.В. ЛИТОВКА, профессор, доктор техн. наук, АмГУ, г. Благовещенск

Влияние динамических параметров металлорежущего станка на его характеристики качества определяется комплексом условий. Доминирующим параметром, оказывающим влияние на качество оборудования как при обработке резанием, так и при работе коробок скоростей и подач, является параметр виброакустической активности. Возмущающие силы в зависимости от физической сущности механизма возбуждения вибраций действуют на технологическую систему и приводят ее к вынужденным колебаниям и автоколебаниям. Широкий спектр частот возмущающих воздействий и большое число несущих звеньев станка с различными собственными частотами по всем координатным осям создают благоприятные условия для возникновения резонансов. Все это обосновывает необходимость разработки систем защиты от вибраций.

Если принять допущение о диффузности вибрационного поля в корпусных конструкциях металлорежущих станков, то решение многих задач, связанных с распространением и изоляцией звуковых вибраций (виброизоляция, вибропоглощение, звукоизоляция, звукопоглощение), существенно упрощается. Следуя этому направлению, определим условия, при которых вибрационное поле в корпусных деталях можно считать диффузным.

В своем большинстве корпусные элементы металлорежущих станков представляют собой прямоугольные пластины, подкрепленные параллельными ребрами жесткости и имеющие различные технологические отверстия. Возникновение вибрационного поля в ограниченной в двух взаимно перпендикулярных направлениях пластине возбуждает весь спектр мод изгибных колебаний. Форма данных мод для шарнирно-опертых краев пластины может быть выражена уравнением [1]

$$\xi_{nm}(x,y)=A_{nm}\psi_{nm}(x,y)=A_{nm}\cdot\sin k_{xn}x\cdot\sin k_{ym}y\ , \qquad (1)$$

где A_{nm} – амплитуда моды; $\psi_{nm}(x,y)=\sin k_{xn}x\cdot\sin k_{ym}y$ – фундаментальная функция, описывающая форму моды; $k_{xn}=\frac{\pi}{2l_1}n$, $k_{xn}=\frac{\pi}{2l_2}m$ – проекции вектора волнового числа $\vec{k}_{unm}$ на оси координат x и y, n = 1, 2, 3, ..., m = 1, 2, 3, ... ; l_1 и l_2 – размеры сторон прямоугольной пластины.

Используя формулу Эйлера, представим выражение (1) в виде

$$\xi_{nm}(x,y)=\frac{A_{nm}}{4}(-e^{ik_{xn}x}e^{ik_{ym}y}+e^{-ik_{xn}x}e^{ik_{ym}y}+e^{ik_{xn}x}e^{-ik_{ym}y}-e^{-ik_{xn}x}e^{-ik_{ym}y}). \qquad (2)$$

Из выражения (2) вытекает, что моду изгибных колебаний пластины можно рассматривать как совокупность четырех бегущих изгибных волн с одним и тем же волновым числом k_{unm} и одинаковой амплитудой. Направления движения этих волн попарно противоположны друг другу и симметричны по отношению к осям координат x и y. Волновые векторы $\vec{k}_{unm}$ этих волн и их проекции на оси координат x и y изображены на рис. 1,*а*. Векторную диаграмму (рис. 1, *а*) можно изобразить упрощенно в виде ее части, приходящейся на первый квадрант координатной плоскости k_x, k_y (рис. 1,*б*). В одной моде изгибных колебаний пластины происходит движение колебательной энергии по двум направлениям, симметричным относительно осей координат x и y. Если аналогичные диаграммы для всех других мод поместить на одном графике, то получим векторную диаграмму, иллюстрация которой изображена на рис. 2.

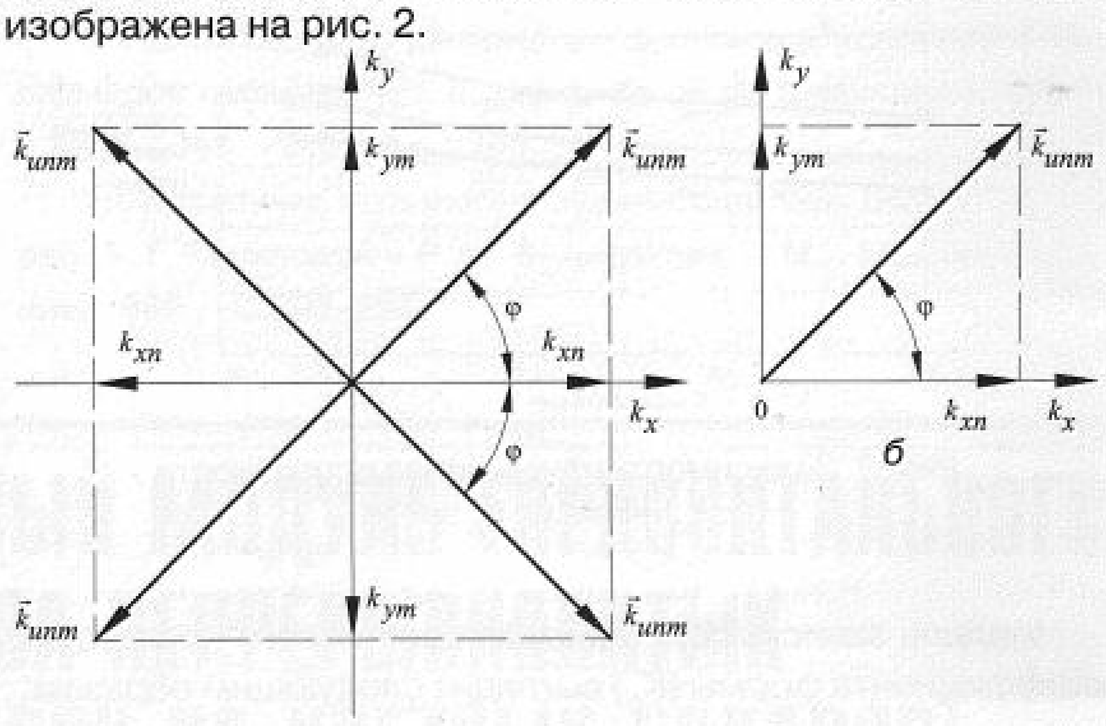


Рис. 1. Векторная диаграмма для n, m-й мод изгибных колебаний пластины: *а* – полная диаграмма; *б* – упрощенная

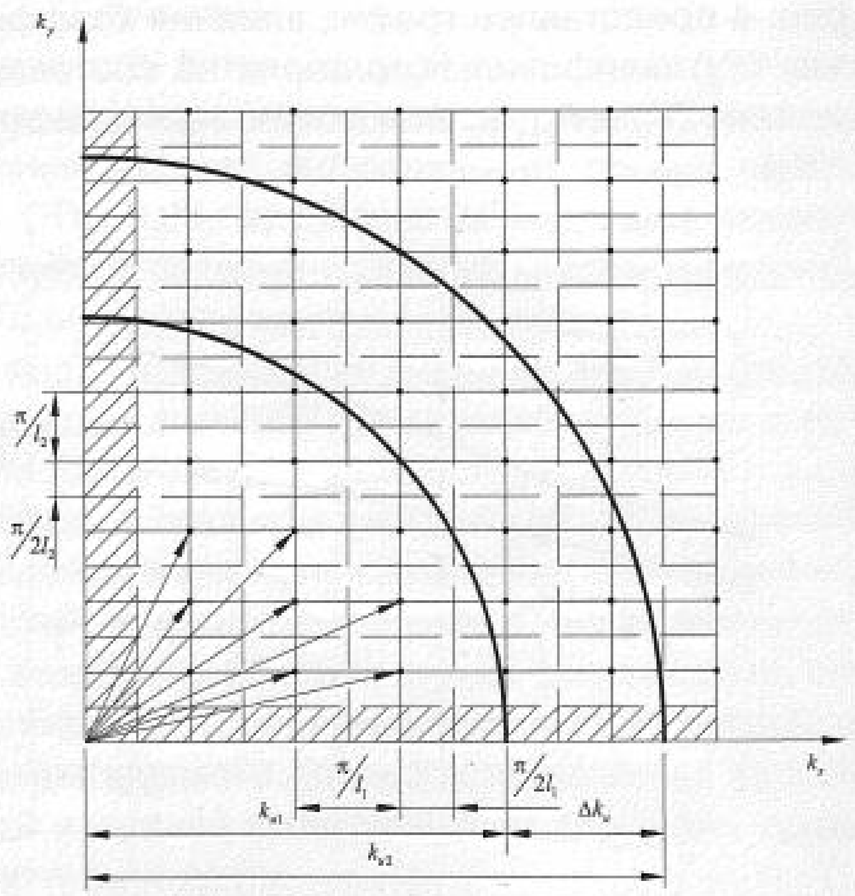


Рис. 2. Векторная диаграмма для мод изгибных колебаний пластины

Векторная диаграмма для мод изгибных колебаний прямоугольной пластины показывает, что каждому век-

тору $\bar{k}_{unm}$ в координатной плоскости k_x, k_y соответствует прямоугольная ячейка с площадью

$$\Delta S = \frac{\pi}{l_1}\frac{\pi}{l_2} = \frac{\pi^2}{S}, \quad (3)$$

где S – площадь пластины.

С помощью диаграммы можно определить количество мод, у которых волновое число k_{unm} меньше заданного значения k_u. Приближенно количество мод будет равно числу ячеек N площадью ΔS, помещающихся внутри четверти круга радиусом k_u. С учетом того, что ячейки ΔS занимают всю площадь квадранта, кроме узких полос вдоль k_x и k_y шириной соответственно $\frac{\pi}{2l_1}$ и $\frac{\pi}{2l_2}$, количество мод $N(k_u)$ будет равно:

$$N(k_u) \approx \frac{k_u}{4\cdot\pi}(k_u S - L), \quad (4)$$

где L – периметр пластины.

Теперь определим количество мод $N(\Delta k_u)$ и векторы $\vec{k}_{unm}$, которые лежат в диапазоне волновых чисел $\Delta k_u = k_{u1} - k_{u2}$. Оно будет равно числу ячеек ΔS в пределах четверти кольца, ограниченного радиусами ku1 и ku2 (см. рис. 2). Согласно (4) количество $N(\Delta k_u)$ можно выразить следующей зависимостью:

$$N(\Delta k_u) = N(\Delta k_{u1}) - N(\Delta k_{u2}) = \frac{1}{4\pi}\left[S(k_{u1}^2 - k_{u2}^2) - L(k_{u1} - k_{u2})\right]. \quad (5)$$

Полагая $\Delta\omega\cdot\omega$, (где ω – средняя круговая частота в диапазоне $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$), а также учитывая (5), получаем:

$$N(\Delta\omega) \approx \frac{S\Delta\omega}{4\pi\alpha^2} - \frac{L\Delta\omega}{8\pi\omega\alpha} \approx \frac{\Delta\omega}{4\pi\alpha}\left(\frac{S}{\alpha} - \frac{L}{2\omega}\right), \quad (6)$$

где $\alpha^2 = c_n \cdot h \cdot \left[12\left(1-\mu^2\right)\right]^{-\frac{1}{2}}$.

Анализ выражения (6) показывает, что количество мод изгибных колебаний шарнирноопертой по краям прямоугольной пластины, чьи собственные частоты лежат в пределах полосы частот $\Delta\omega$, растет с увеличением площади пластины S и полосы частот $\Delta\omega$.

Основные источники колебательной энергии в металлорежущих станках в большинстве случаев имеют сплошной спектр возбуждающих усилий на средних и высоких частотах [2].

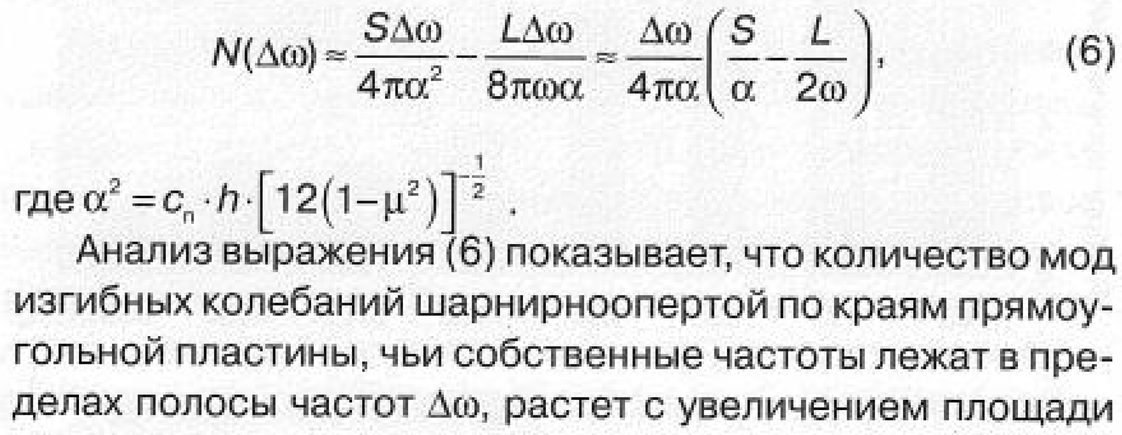


Рис. 3. Векторная диаграмма для мод изгибных колебаний пластины размером $l_1 \times l_2; (l_1 \le l_2)$: *а* – $\Delta k_u < \pi/l_1$; *б* – $\Delta k_u > \pi/l_1$

В качестве примера определим частотный диапазон, определяющий диффузность вибрационного поля изгибных колебаний, используя понятия векторных диаграмм. Рассмотрим две векторные диаграммы мод изгибных колебаний пластины размером l_1 и l_2, причем $l_1 \le l_2$ (рис. 3). В первой диаграмме $\Delta k_u < \pi/l_1$ (рис. 3, *а*), во второй (рис. 3, *б*) $\Delta k_u > \pi/l_1$.

В первом случае (рис. 3, *а*) распределение направлений движения энергий в пластине неравномерно. Во втором случае распределение направлений движения энергии более равномерно в пределах угла, равного $\pi/2$.Таким образом, первое условие, необходимое для существования диффузного поля изгибных волн, исследуемого в полосе частот $\Delta\omega$, будет соответствовать следующему неравенству:

$$\Delta\omega > \frac{\pi c_u}{l_1}, \quad (7)$$

где l_1 – длина наименьшей стороны пластины.

Согласно методам спектрального анализа относительные полосы частот можно представить в виде:

$$\Delta\omega = \beta\omega_{cp}, \quad (8)$$

где β – числовой коэффициент, зависящий от ширины полосы $\Delta\omega$ (для октавной полосы $\beta = 0.707$).

Приравнивая равенства (7) и (8), получаем выражение

$$f_1 = \frac{\pi c_n r}{2l_1^2\beta^2}, \quad (9)$$

где f_1 – частота, выше которой удовлетворяется условие (7).

В корпусных элементах металлорежущих станков (двухмерном случае) достаточная угловая плотность направлений распространения энергии может быть обеспечена при количестве одновременно возбуждаемых мод более 5, [2], т.е.

$$N(\Delta\omega) \ge 5, \quad (10)$$

где $N(\Delta\omega)$ – количество собственных частот мод изгибных колебаний пластины в полосе частот $\Delta\omega$.

Так как с повышением частоты спектр частот мод пластины относительно уплотняется, то должна существовать некоторая частота f_2, ниже которой условие (10) не выполняется. Используя равенства (6) и (10), получаем выражение:

$$f_2 = \left(\frac{10\alpha}{S\delta\beta} + \frac{L}{4\pi S\delta}\right)\alpha, \quad (11)$$

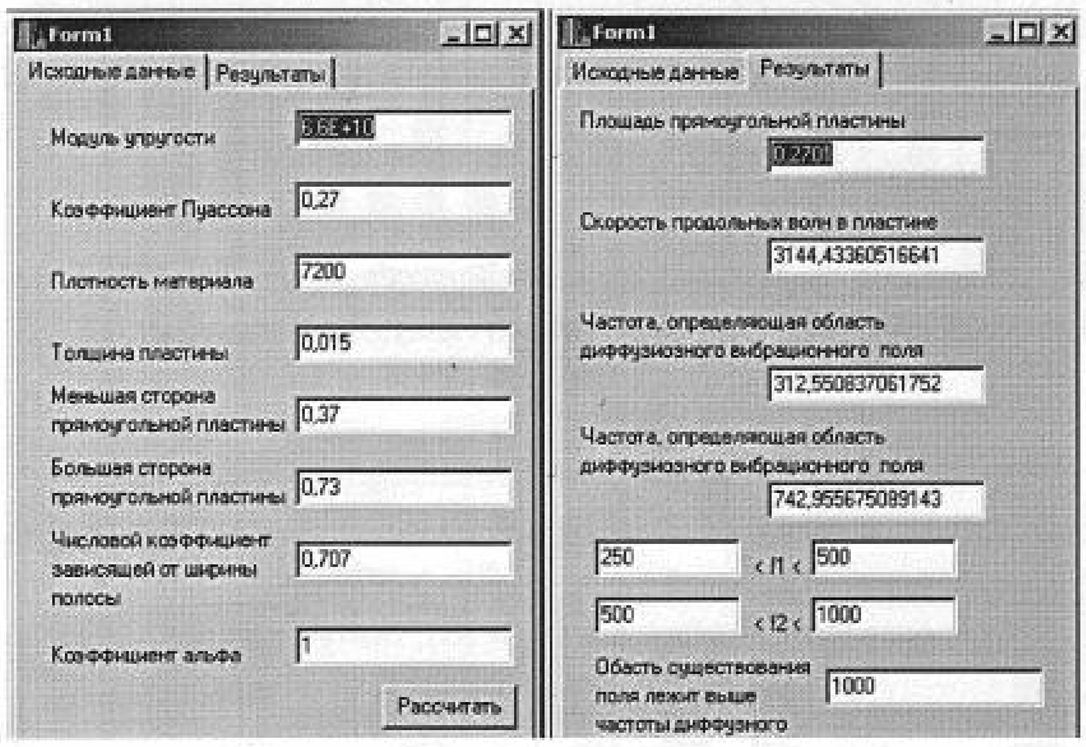
где δ – коэффициент, учитывающий уменьшение площади пластины из-за технологических отверстий, отверстий под подшипниковые опоры и т.п

Если сравнивать условия (9) и (11), то можно заметить что значение f_1 может быть как больше, так и меньше значения f_2. Следовательно, область существования диффузного вибрационного поля будет лежать выше наибольшей из этих частот.

Теоретические зависимости расчета диапазона диффузности изгибных волн в корпусных элементах металлорежущих станков реализованы в программном обеспечении. Разработан программный модуль в среде программирования C++ Builder 5 [3], интерфейс которого представлен на рис. 4.

Уровни вибрации коробки скоростей вертикально-сверлильного станка 2Н135

Порядковый номер точек крепления датчиков	Уровни вибрации, дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	63	58	59	64	63	58	54	51
2	64	59	60	64	63	60	54	52
3	67	65	65	68	65	61	56	53
4	65	64	64	67	64	60	55	52
5	61	57	58	63	62	59	53	50
6	61	58	58	63	61	60	54	51



а *б*

Рис. 4. Интерфейс программы расчета диапазона диффузности изгибных волн в корпусных конструкциях металлорежущих станков: *а* – исходные данные; *б* – расчетные данные

Для проверки теоретических зависимостей в качестве объекта исследования была выбрана прямоугольная пластина коробки скоростей вертикально-сверлильного станка 2Н135 толщиной 0.015 м и размерами l_1 = 0.37 м, l_2 = 0.73 м. О характере вибрационного поля корпусного элемента коробки скоростей можно косвенно судить по разбросу уровней измеряемых вибраций. В диффузном вибрационном поле этот разброс не должен превышать погрешности измерений, т. е. величины порядка 2...4 дБ. В ходе эксперимента были исследованы уровни вибрации в октавных полосах частот 63...8000 Гц в соответствии с ГОСТ 12.4.012-83 («Контроль параметров вибрации»). При измерениях экспериментальных данных использовался точный импульсный шумомер 00 017 с октавными фильтрами фирмы «Robotron». Выбор характерных точек для установки датчиков вибрации осуществлен на основании результатов предварительного эксперимента, при котором было проведено максимально возможное число замеров при установке датчиков во всех доступных местах коробки скоростей. В связи с тем, что силовые и кинематические возбуждения в узлах вибрации коробки скоростей зависят не только от интенсивности рабочих процессов, но и от динамических характеристик конструкции, в качестве характерных выбраны точки в зонах непосредственного крепления опор зубчатых передач коробки скоростей.

Результаты параметров вибрации представлены в таблице. На рис. 5 приведена частотная характеристика разброса уровней вибраций. На частоте выше 1000 Гц разброс уровней вибраций составляет 2...4 дБ, а на более низких частотах достигает 6...8 дБ. На рисунке отмечены частоты, вычисленные по формулам (9) и (11) и составляющие соответственно f_1 = 313 Гц и f_2 = 743 Гц. Большее значение этих частот хорошо согласуется с экспериментально определенной областью диффузности вибрационного поля в пластине.

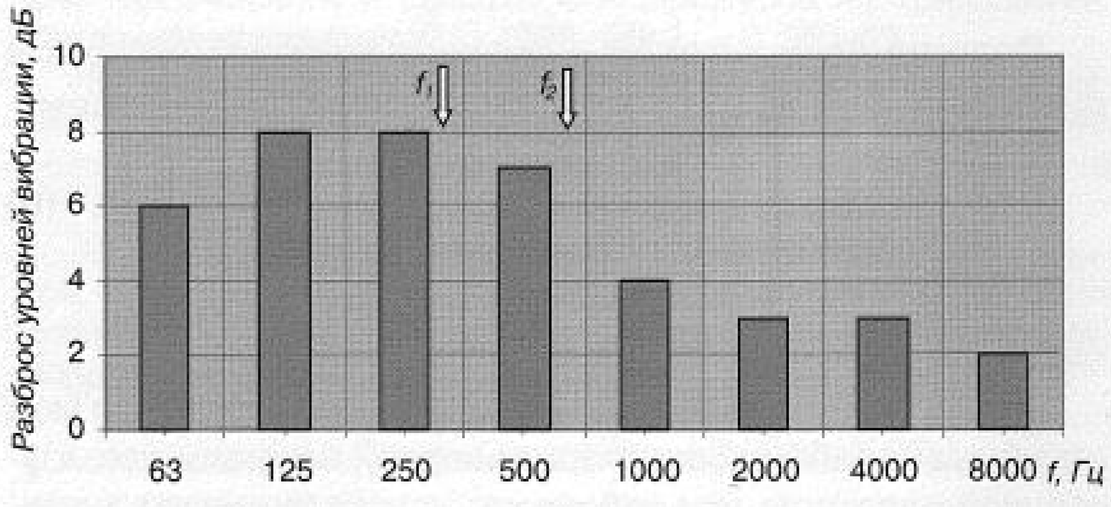


Рис. 5. Разброс уровней вибрации коробки скоростей вертикально-сверлильного станка 2Н135

Таким образом, найденные расчетные формулы (9) и (11) могут быть использованы в инженерной практике для определения частотного диапазона диффузности вибрационных полей в элементах металлорежущих станков.

Список литературы

1. *Никифоров А.С.* Распространение и поглощение звуковой вибрации на судах / А.С. Никифоров, С.В. Будрин. – Л.: Судостроение, 1968. – 216 с.

2. *Васильков Д.В.* Колебания в приводах металлорежущих станков / Д.В. Васильков, В.Л. Вейц, П.А. Лоцих. – Иркутск, 1997. – 200 с.

3. *Расчет* диапазона диффузности поля изгибных волн в элементах конструкций машин текстильной и легкой промышленности: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / А.М. Медведев, Е.С. Кишлалы, А.В. Станийчук, Л.А. Ковалева – № 2006610667.– М.: Роспатент.

ВИБРОУСТОЙЧИВАЯ ТОРЦОВАЯ ФРЕЗА ДЛЯ РАБОТЫ С МОДУЛИРОВАННОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ

В.М. СВИНИН, доцент, канд. техн. наук, ЧитГУ, г. Чита

Потеря динамической стабильности технологической системы (ТС) при черновой механической обработке обусловлена, главным образом, вторичным возбуждением (регенерацией) автоколебаний под воздействием вибрационного следа на поверхности резания [1]. Одним из наиболее перспективных способов подавления автоколебаний является изменение по гармоническому закону (модуляция) скорости резания. Для реализации этого способа при торцовом фрезеровании в Читинском государственном университете была разработана и запатентована специальная фреза [2].

Основная идея конструкции фрезы заключается в том, что она состоит из двух коронообразных венцов с чередующимися зубьями. Упругая связь между венцами обеспечивает их периодический взаимный поворот во время работы. В результате скорость резания смежных зубьев при проходе одного и того же участка обрабатываемой поверхности имеет различную величину. Если в ТС возникают автоколебания, обусловленные каким-либо из ее элементов, то на поверхностях резания, последовательно образуемых четными и нечетными зубьями, появляются вибрационные волны разной длины, соответствующие разным мгновенным скоростям резания четных и нечетных зубьев. Это нарушает регенеративный эффект поддержания автоколебаний влиянием следа, и они гасятся.

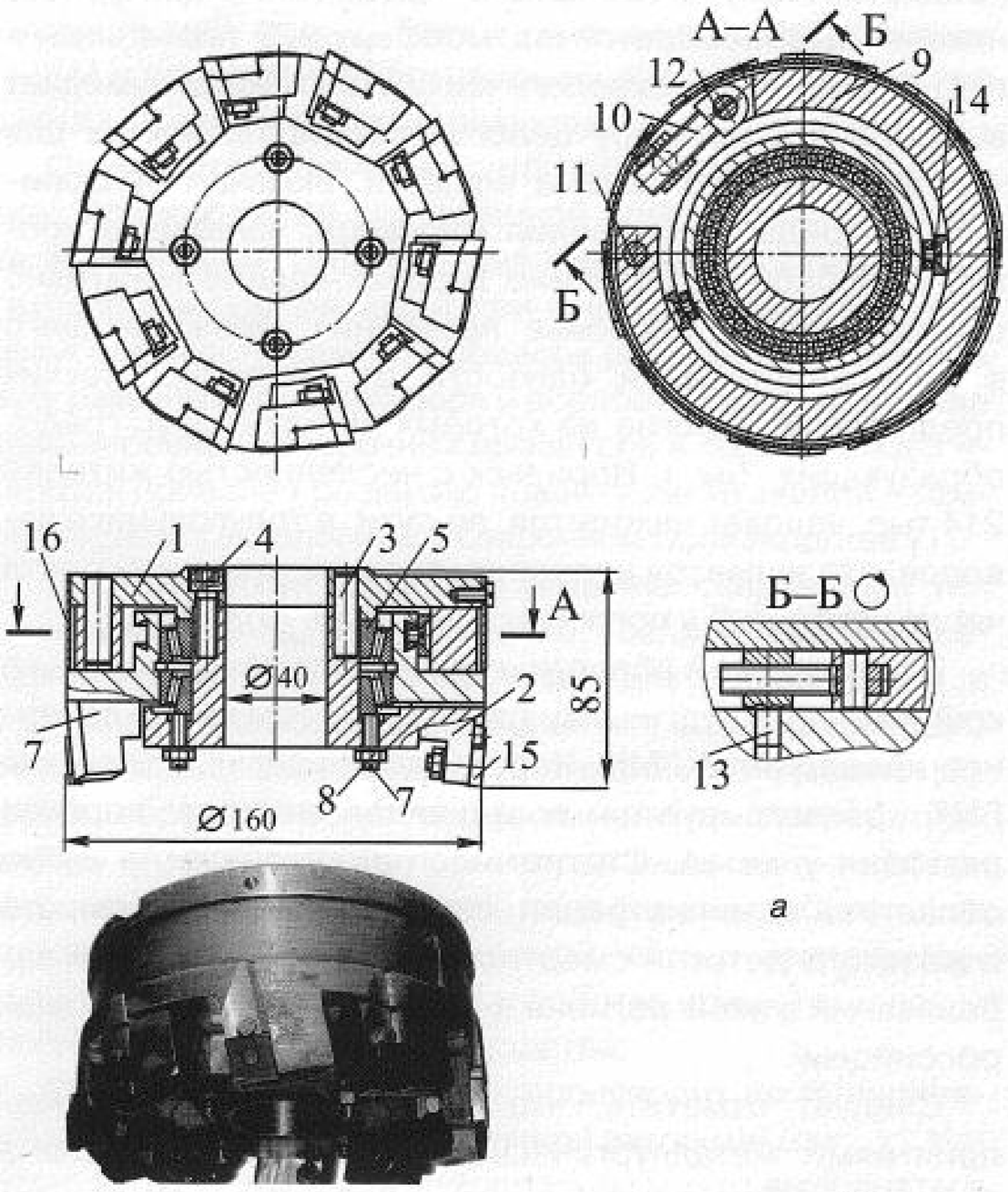


Рис. 1. Конструкция (*а*) и внешний вид (*б*) виброустойчивой торцовой фрезы

Конструкция и внешний вид одного из вариантов виброустойчивой торцовой фрезы представлены на рис. 1. Корпус фрезы образован фланцем *1* и венцом *2* с нечетными режущими зубьями, скрепленными между собой двумя штифтами *3* и четырьмя винтами *4*. На венце 2 через два радиально-упорных роликоподшипника *5* установлен венец *6* с четными режущими зубьями. Натяг в роликоподшипниках создают с помощью четырех винтов *7*, стопоримых гайками *8*. Упругую связь венцов осуществляют пружина *9*, выполненная в виде разрезного кольца, тяга *10* и оси *11*,*12* и *13*. Резьбовое соединение тяги *10* и головки оси *13* позволяет осуществлять при сборке фрезы регулировку переменного шага режущих зубьев. Для изменения жесткости упругой связи венцов *2* и *6* служат передвижные опоры *14*, установленные в круговой канавке клинообразного профиля на венце *6*. При тангенциальном расположении сменных твердосплавных режущих пластин 15 зубья фрезы имеют геометрию: $\varphi = 85^\circ$, $\varphi_1 = 5^\circ$, $\gamma_{рад} = -11^\circ$, $\gamma_{ос} = -10^\circ$. Кожух *16*, закрепленный на фланце *1*, предохраняет пружину *9* от отлетающей стружки.

Наибольшая разность скоростей резания смежных зубьев, а следовательно и максимальная эффективность подавления автоколебаний, достигаются в режиме противофазных крутильных колебаниях венцов *2* и *6* во время работы. Такой характер движения фрезы создается в результате установления автоколебаний или вынужденных резонансных колебаний крутильной двухмассовой подсистемы «шпиндель с корпусом фрезы–подвижный венец», которые обеспечиваются предварительным подбором жесткости упругой связи венцов и неравномерного шага зубьев [3].

Сопоставительными экспериментами, проведенными стандартной торцовой и двухвенцовой фрезами, установлено, что фрезерование стальных заготовок с модулированной скоростью резания позволяет снизить уровень вибраций подсистемы инструмента на 55...75 %, подсистемы заготовки на 33...72 %, уменьшить шероховатость обработанной поверхности на 28...55 %, увеличить объем срезаемого материала в единицу времени на 11...75 %. На режимах обработки, создающих высокий уровень вибраций, двухвенцовая фреза позволяет работать с максимальной глубиной резания, допускаемой мощностью привода главного движения станка. Таким образом, применение специальной виброустойчивой торцовой фрезы позволяет реализовать новый подход к управлению динамической стабильностью процессов фрезерования на основе модуляции скорости резания, создавая резерв повышения производительности обработки.

Список литературы

1. *Свинин В.М.* Механизм регенерации вторичных автоколебаний в процессе резания / В.М. Свинин //Обработка металлов. – 2005. –№2(27). – С.39–41.

2. *Патент* № 2212311 РФ, МПК7 В 23С 5/16. Сборный режущий инструмент/ В.М. Свинин, А.А.Кулеш, С.В. Савоськина, В.В. Капшунов; опубл.20.09.2003, Бюл. Изобретения №26. –5с.

3. *Свинин В.М.* Фрезерование с модулированной скоростью резания / В.М. Свинин. – Иркутск: Изд.-во ИрГТУ, 2007. – 302 с.

ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИИ

Пресс-служба компании Ruukki, г. Москва

К середине 20 века и особенно в последние десятилетия в результате быстрого развития промышленности, транспорта, энергетики резко усилилась антропогенная нагрузка на природу; стала очевидной опасность истощения естественных ресурсов, необратимого загрязнения и изменения окружающей среды.

Статистические данные свидетельствуют о том, что на планете ежегодно сжигается около 1 млрд. тонн условного топлива, выбрасывается в атмосферу десятки млн тонн окислов азота и серы (часть из них возвращается в виде т.н. кислотных дождей), более 400 млн тонн золы, сажи и пыли. Загрязнение атмосферного воздуха, пресной воды, плодородной почвы приняло глобальный характер. При этом масштабы загрязнений столь велики, что естественные способности биосферы к нейтрализации вредных веществ и самоочищению практически исчерпаны.

В России источником интенсивного загрязнения окружающей среды являются, в ряду прочих, предприятия металлургической отрасли отечественной тяжелой промышленности. Строительство большинства из них пришлось на первую половину прошлого века, когда вопросы природоохранной деятельности предприятий в лучшем случае были второстепенными. Об экологии задумались несколько позже, лишь в последние десятилетия прошлого столетия (например, история «Норильского никеля» свидетельствует о том, что металлургическое производство в Норильске было основано в 1935 г., однако первые сероутилизирующие объекты появились только в начале 1980-х годов).

Сложившаяся ситуация требует поиска новых путей и подходов к решению экологических проблем, связанных с промышленным производством. Очевидно, что это должен быть целый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение или существенное снижение неблагоприятного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и, как следствие, на здоровье человека.

Проблемные вопросы экологии отечественных металлургических предприятий

Особенностью отечественного металлургического производства является негативное воздействие на все составляющие окружающей среды. Это загрязнение почв по причине массового складирования отходов, сброс недостаточно обработанных производственных вод в естественные водоемы, а также выбросы в атмосферу большого количества вредных веществ.

Так, например, для металлургических предприятий актуальна проблема переработки техногенных образований. Известно, что для выработки одной тонны стали традиционным способом в производство вовлекается более трех тонн первичных природных сырьевых ресурсов. Образующиеся после выплавки стали доменные шлаки накапливаются в отвалах и шламохранилищах, отнимая при этом городские и сельскохозяйственные земли и создавая дополнительную нагрузку на территорию (так, только на территории металлургических предприятий Уральского региона скопилось свыше 6 млрд. тонн подобных отходов).

Металлургия использует 25 % от всей потребляемой российской промышленностью воды. При этом в большинстве случаев после промышленного использования эта вода не обрабатывается должным образом и загрязненная попадает в поверхностные и грунтовые воды. Тяжелые металлы, нефтеотходы, фенолы и ряд других элементов, присутствующие в сбрасываемой воде, делают ее непригодной для дальнейшего использования, а порой становятся причиной массовой гибели биоресурсов в близлежащих водоемах. Очевидно, что важнейшими пунктами экологических программ металлургических предприятий должно стать сокращение объема забора свежей технической воды и снижение объема сброса производственных вод.

Установлено, что предприятия черной металлургии выбрасывают в атмосферу до 25 % металлосодержащей пыли и окиси углерода от общего количества этих веществ, попадающих в атмосферу в результате промышленных процессов. На металлургию приходится распространение в атмосфере почти 50 % неутилизируемых промышленностью окислов серы (только предприятиями Заполярного филиала «Норильского никеля» выбрасывается в атмосферу 979 тыс. т серы в год). Кроме того, технологический цикл подразумевает выбросы в атмосферу целого спектра токсичных для человеческого организма веществ, включая бензопирен, фториды, соединения марганца, ванадия и хрома. Подобное загрязнение воздуха крайне негативно сказывается на здоровье населения, проживающего в непосредственной близости от металлургических предприятий, многие из которых имеют статус градообразующих. Так, г. Норильск с численностью жителей 214 тыс. человек находится, по сути, в треугольнике заводов, что является непосредственной причиной роста числа патологий у проживающих здесь людей.

В Мурманской области, где расположены несколько крупных металлургических заводов, в том числе дочернее предприятие ГМК «Норильский никель» – Кольская ГМК, регистрируется повышенная частота пороков развития у детей. Статистика, приведенная на сайте областной администрации, свидетельствует о том, что показатель детской смертности от онкологических заболеваний в этом регионе в 1,9 раза превышает общероссийский.

Следует отметить, что в последние годы предприятиями металлургического комплекса проделана большая работа в интересах снижения вредного воздействия производства на окружающую среду. Заслуживает внимания опыт ОАО «Ижсталь», где успешной реализацией ряда природоохранных мероприятий

Классификация предприятий и размеры СЗЗ

Санитарная классификация предприятий	Размеры СЗЗ (м)
Предприятия первого класса	1000
Предприятия второго класса	500
Предприятия третьего класса	300
Предприятия четвертого класса	100
Предприятия пятого класса	50

удалось сократить на 514 000 м^3/год объем сброса производственных вод в реку Иж. Однако эта цифра составляет около 10 % от общего объема сброса. Более значимые результаты в этом направлении достигнуты металлургической компанией «Северсталь», где удалось на 98,2 % замкнуть водооборотный цикл и закрыть пять стоков в естественные водоемы.

В настоящее время вопросы экологии находятся в центре внимания руководства и общественных организаций металлургического комплекса, однако на устранение проблем, копившихся десятилетиями, потребуется определенный период времени. Так, даже действующие нормативные документы нуждаются в уточнении, поскольку металлургам довольно часто приходится сталкиваться с комплексом нерешенных юридических вопросов.

Требования руководящих документов в области экологии предприятий металлургической промышленности

В основе существующей на сегодняшний день законодательной базы в области экологической безопасности металлургического производства лежит Закон РФ «Об охране окружающей среды». В нем сформулированы общие требования, обязывающие предприятия принимать необходимые меры по соблюдению технологических режимов и проведению мероприятий по охране окружающей среды.

Кроме того, действующими санитарными правилами и нормами Минздрава (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200 – 03) предписано создание вокруг предприятий санитарно-защитных зон (СЗЗ). Размер СЗЗ зависит от класса предприятия, который определяется исходя из оценки потенциальной опасности его производственной деятельности для здоровья человека, результатом которой может стать загрязнение атмосферного воздуха (см. таблицу).

При этом границы СЗЗ (см. таблицу) указывают величину оптимального санитарного разрыва между предприятиями и жилой застройкой и являются гарантией качества атмосферного воздуха даже в случае выброса вредных веществ без очистки.

Важнейшим документом в области природоохранной деятельности металлургических предприятий в РФ является экологический стандарт ГОСТ Р ИСО 14001, разработанный на базе международной системы стандартов ISO 14000, которой, в свою очередь, руководствуются страны Европейского Союза, Японии, США и др. Особенностью данной системы стандартов является ее ориентирование не на конкретные технологии или количественно-качественные показатели (объем выбросов, концентрации веществ и т.п.), а на систему экологического менеджмента (СЭМ) (или СУОС – система управления охраной окружающей среды – в редакции ГОСТ Р ИСО 14001).

Следует отметить, что экологический менеджмент отнесен к высшему приоритету промышленной деятельности в XXI в., что было продекларировано на Конференции объединенных наций по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992 г.).

Кроме того, системой стандартов ISO 14000 предусматривается создание производств, которым должны быть присущи: безотходность, экологически благоприятные технологии, производимая продукция и высокая культура персонала.

Для отечественных металлургических предприятий такая сертификация является непременным условием маркетинга продукции на международных рынках, поскольку ЕЭС объявило о своем намерении допускать на рынок стран Содружества только ISO- сертифицированные компании. Целесообразность получения предприятием сертификата соответствия также обусловлена:

- увеличением оценочной стоимости основных фондов предприятия;
- возможностью освоения новых рынков экологической продукции;
- повышением конкурентоспособности продукции на внутреннем и мировом рынках;
- совершенствованием системы управления предприятием;
- возможностью привлечения высококвалифицированной рабочей силы.

Кроме того, наличие авторитетного экологического сертификата является существенным конкурентным преимуществом предприятия при получении государственного заказа.

Позитивные процессы и зарубежный опыт

Тобиас Хан, автор современной методики расчета экологической эффективности компаний, считает: «Чем меньше природных ресурсов использует компания и чем больше ее деятельность основывается на ноу-хау персонала, тем более высокой степенью экологической эффективности она обладает...». Отметим, что многие отечественные металлургические предприятия в настоящее время уже идут по этому пути. Об этом свидетельствуют сертификаты экологической безопасности производства. Первой российской металлургической компанией, сертифицированной по ИСО 14001, стала «Северсталь» (2001г.). В 2006г ОАО «Челябинский цин-

ковый завод» подтвердил соответствие требованиям стандартов экологического менеджмента ИСО 14001.

В 2005 г. Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЗСМК) прошел сертификацию системы экологического менеджмента на соответствие требованиям стандарта ИСО 14001. На комбинате эффективно работает система управления природоохранной деятельностью, направленная на решение экологических проблем и подключающая к этому процессу всех работников комбината: от управляющего директора до рабочего. Данная система обеспечивает снижение выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы и предотвращение загрязнения почв за счет повышения: технологической дисциплины, внедрения новых технологий и технического перевооружения. В частности, только перевод сталеплавильного производства на прогрессивную технологию непрерывной разливки стали позволяет снизить вредные выбросы в атмосферу на 5,3 тыс.т в год.

В области природоохранной деятельности показателен пример металлургических предприятий ряда стран Западной Европы, например, Финляндии. Лидирующим производителем металла в этой стране по праву считается корпорация Ruukki (ведущий европейский поставщик решений из металла для строительства и машиностроения), которой принадлежит несколько заводов на юго-западе Финляндии, а также крупнейший металлургический комбинат в г. Раахе на севере страны.

Построенный в начале 60-х годов с привлечением советских специалистов (завод является «близнецом» Череповецкого) финский комбинат в настоящее время является основным производителем металла и металлопродукции (по результатам 2006 г. на комбинате произведено 2,8 млн т стали, при ее общем производстве корпорацией Ruukki – 3,2 млн т).

Предприятие находится практически в центре небольшого городка с населением 22,4 тыс. человек на территории международного морского порта. Богатое историческое наследие и культурные традиции города Раахе, основанного в 1649 г., ежегодно привлекают сюда тысячи туристов. При этом близость металлургического комбината не вызывает фобии ни у местного населения, ни у многочисленных туристов, поскольку предприятие в области охраны окружающей среды оснащено по последнему слову науки и техники. Лучшей иллюстрацией высокого уровня обеспечения экологической безопасности производства является непосредственное соседство промышленных площадок комбината с жильем и объектами социальной инфраструктуры (клубами, ресторанами и т.п.).

Это убедительный пример того, что близость с промышленным предприятием не оказывает негативного влияния на инвестиционную привлекательность прилегающих территорий и они не нуждаются в статусе «санитарно-защитная зона» – такого понятия на Западе вообще нет.

Приведенный пример не единичный случай, а широко распространенная практика большинства европейских металлургических заводов.

* * *

Очевидно, что динамичный рост отечественной экономики усиливает техногенную нагрузку на природу и большая доля «вклада» при этом приходится на базовую отрасль промышленности – металлургию.

В интересах сохранения природного равновесия и минимизации вреда, наносимого окружающей среде, от предприятий металлургического комплекса требуется в самые сжатые сроки решить множество экологических задач. Основными среди них должны стать: оценка фактического состояния окружающей среды, выявление путей снижения негативного воздействия на природу, реконструкция (строительство новых) производств с учетом требований природоохранного законодательства и мнения общественности, внедрение экологически чистых технологий, создание СУОС, осознавая, что затраты на экологию не могут быть убыточными. И порукой тому – пример наших северных соседей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА РЕЖУЩЕГО И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

В.В. СМИРНОВ, доцент, канд. техн. наук, БТИ АлтГТУ, г.

В реальной производственной ситуации процессы, происходящие в зоне контакта инструмента и обрабатываемого материала, могут причинить чрезмерный вред инструменту или стать причиной появления брака. Практические исследования, особенно критических режимов обработки новых материалов, слишком дороги. Поэтому моделирование контактных явлений актуально и достаточно давно привлекает внимание отечественных и зарубежных специалистов в области механической обработки [1].

Однако при построении математических моделей системы взаимодействующих тел исследователи процесса резания зачастую пренебрегают локальными явлениями в зоне контакта. В этом случае используют традиционную методику анализа напряженно-деформированного состояния конструкции и, руководствуясь принципом Сен-Венана, проводят упрощение и схематизацию нагрузок и приходят к смешанной задаче теории упругости с заданными на границе силами и смещениями. Такие упрощения расчетной схемы иногда позволяют достичь адекватных результатов. Но в большинстве случаев закон распределения истинных контактных давлений на поверхностях инструмента и заготовки оказывает существенное влияние на ход

технологической операции в целом. Поэтому возникает необходимость решения контактных задач, где размеры и конфигурация площадок контакта, условия взаимодействия на них нелинейно зависят от приложенной нагрузки. При этом указанные параметры являются искомыми и определяются путем решения контактной задачи.

При высоких уровнях контактных нагрузок и температур взаимодействие инструмента и заготовки сопровождается появлением деформации пластичности и ползучести. К необходимости решения физически нелинейной задачи приводит также применение обрабатываемых материалов синтетического происхождения с низким модулем упругости.

В области внедрения режущей кромки происходит концентрация контактных напряжений и наблюдаются большие формоизменения материала в зонах первичной и вторичной деформации, где необходим учет геометрической нелинейности процесса деформирования.

Еще один тип нелинейности имеет место при рассмотрении фрикционного взаимодействия на стадии разделения стружки и заготовки, определяющего зависимость между перемещениями и усилиями на контактных площадках передней и задней поверхностей инструмента.

Все перечисленные факторы в совокупности со сложной геометрией зоны резания, неоднородностью ее структуры, анизотропией механических свойств, разнообразием температурных и силовых воздействий очень чувствительны к изменениям условий резания и, вследствие этого, ставят решение контактной задачи в рамки трудноразрешимой математической проблемы. Поэтому в широкой инженерной практике распространение получила лишь малая часть математических моделей, основанных на аналитических методах, наиболее простых с вычислительной точки зрения. Большая часть современных исследователей отдает предпочтение вариационной формулировке контактной задачи, а именно методу конечных элементов. Для его применения используются численные процедуры поиска экстремума функционала, достигающего минимума на решении исходной задачи, и, кроме того, имеющего граничные условия в качестве необходимых условий экстремума.

Одними из первых известных работ с использованием численных методов и вычислительного эксперимента для изучения температурных полей и напряжений в режущем инструменте были исследования, проведенные в Киевском политехническом институте [2]. Далее использование численных методов для расчета теплового и напряженного состояний элементов технологической системы не потеряло актуальности, так как позволяет получать достаточно точное решение инженерной задачи, не прибегая к большим количествам упрощений в математической модели. В дальнейшем множество авторов прилагали усилия для уточнения и интенсификации соответствующих численных алгоритмов [3]. При этом в некоторых случаях для моделирования процесса использовалась эйлерова формулировка, особенность которой состоит в том, что авторы использовали модель разрушения, основанную на выделении в некоторой области материала при вершине резца предполагаемой линии раздела (фиктивной трещины), по которой будет осуществляться разделение заготовки [4]. Однако большая часть исследователей положилась на лагранжеву формулировку, которая позволяет детально моделировать процесс отделения стружки, хотя требует для этого введения специального критерия, определяющего момент разделения материала заготовки. В результате установление критерия разделения материала стало представлять собой отдельную практически важную задачу. К числу других проблем, рассматриваемых авторами, относятся: учет при моделировании сил трения, пластических и температурных деформаций, остаточных напряжений.

До конца 1990-х годов, большинство исследователей использовало собственный программный код, реализующий метод конечных элементов. Это позволило выявить некоторые возникающие вычислительные трудности, главная из которых связана с необходимостью перестроения расчетной сетки в связи с происходящими большими термо-упруго-пластическими деформациями и формированием элемента стружки. Значительных вычислительных ресурсов требовало трехмерное моделирование и моделирование многосвязных областей. В настоящее время, в связи со значительным ростом производительности персональных компьютеров, авторы стремятся использовать сертифицированные профессиональные пакеты программ (CAE) [5], многие из которых являются доступными конечным пользователям, обладают достаточной мощностью и вместе с тем открыты для реализации собственных программных кодов.

Несмотря на обилие полученных результатов, вычислительный эксперимент пока не вполне отражает все особенности процесса резания. Другими словами, сложность и разнообразие процессов механической обработки приводит к тому, что отдельная разрабатываемая математическая модель не может быть применена ко всем контактирующим материалам и условиям резания.

Список литературы

1. *Развитие* науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.

2. *Остафьев В.А.* Расчет динамической прочности режущего инструмента / В.А. Остафьев. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.

3. *Mackerle J.* Finite element analysis and simulation of machining: a bibliography (1976-2002) // J. Mater. Process.Technol. – № 43, – 2003, – p. 103-114.

4. *Виноградов Ю.В.* Моделирование процесса стружкообразования в задачах резания методом конечных элементов / Ю.В. Виноградов // Известия ТулГУ. – 2003. – с. 15-18.

5. *Некрасов И.А., Смирнов В.В.* Теоретическая оценка влияния тепловых деформаций на точность обработки заготовок резанием /И.А. Некрасов, В.В. Смирнов // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – с. 104-107.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

технология • оборудование • инструменты

Научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» издается для широкого круга профессионалов - производственников, предпринимателей, работников науки, высшей школы - и распространяется по подписке, в розницу, на выставках, конференциях и семинарах, путем адресной рассылки на предприятия и организации России и стран ближнего и дальнего Зарубежья.

ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ НА ЖУРНАЛ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ» (ЦЕНЫ ПРИВЕДЕНЫ С УЧЕТОМ НДС)

Подписка на журнал осуществляется через редакцию. Для подписки по безналичному расчету необходимо сделать заявку. Заявка оформляется в произвольной форме с указанием адреса и реквизитов подписчика, фамилии получателя. Счет на подписку Вы получите по факсу или по почте.

Подписку можно оформить с любого номера и на любое количество экземпляров. В платежном поручении (или почтовом переводе) укажите: "Подписка на журнал "Обработка металлов".

Периодичность издания журнала	- 4 номера в год.
Стоимость одного номера	-181,50 руб.
Стоимость подписки на один номер с учетом доставки и почтовых расходов	- 196,25 руб.
Стоимость полугодовой подписки по России с учетом доставки и почтовых расходов	- 785,00 руб.

РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ В ЖУРНАЛЕ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ» (С УЧЕТОМ НДС)

Формат	Размер, мм	Цветная, руб.	Черно-белая, руб.
1/1	200x280	8000	5000
1/2	170x118, 83x240	4200	2900
1/3	170x78, 83x158	3200	2250
1/4	170x58, 83x118	2400	1750
1/6	83x78	1600	1200
1/8	83x58	1100	800

ПРИМЕЧАНИЯ: публикация рекламы на 4-й странице обложки - надбавка 20%
стоимость рекламной статьи - 2000 руб. за полосу
постоянным клиентам – скидки

АДРЕС РЕДАКЦИИ: ОАО НПТ и ЭИ "Оргстанкинпром"
630087, г. Новосибирск-87, пр. К. Маркса, 30
Тел.(383) 346-37-77, тел./факс (383) 346-39-11
E-mail: ostp@sibproject.ru

РЕКВИЗИТЫ: ИНН 5404109796
Р/с 40702810801000003157 в КРАБ "Новосибирсквнешторгбанк"
К/с 30101810600000000897, БИК 045004897

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ И РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

1. Статья предоставляется в редакцию на электронном носителе (диск, дискета) в формате Microsoft Word для Windows с распечаткой текста и графических материалов или электронной почтой.
2. Текст статьи должен быть напечатан на бумаге формата А4 в двух экземплярах через 1,5 интервала, шрифт Times New Roman 14. Объём статьи – не более 10 стр., включая таблицы и рисунки; число рисунков – не более 5.
   В статье приводятся сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью), учёная степень, учёное звание, должность, место работы, полный адрес (с почтовым индексом), телефоны, факс, адрес электронной почты.
   Статья должна иметь индекс УДК и реферат объемом не более 1/3 страницы.
3. К статье в обязательном порядке прилагается экспертное заключение о возможности публикации.
4. Рисунки, фотографии, таблицы, схемы предоставляются в формате TIF, JPG, PSD, EPS или BMP, с разрешением 300dpi (для полноцветных изображений цветовая модель CMYK) и с обязательной распечаткой. На обороте указывается (карандашом) фамилия первого автора, номер рисунка (таблицы, схемы).
5. Оригинал-макеты рекламы принимаются в электронной версии (с обязательной распечаткой) в формате CorelDraw, версии 8.0 или Photoshop, версии 5.0. В CorelDraw текст должен быть преобразован в кривые.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС ЮГА РОССИИ

ВЕРТОЛ EXPO
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

3-5 СЕНТЯБРЯ
РОСТОВ-НА-ДОНУ

метмаш 2008
станкоинструмент

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

МЕТАЛЛУРГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЕ МЕТАЛЛООБРАБОТКА

344068, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 30
Тел/факс: (863) 268-77-84, 268-77-83, 268-77-65
E-mail: metall@vertolexpo.ru. Http://www.vertolexpo.ru

Мировой лидер в станкостроении

Токарно-фрезерные обрабатывающие центры INDEX-TRAUB

TRAUB

Проведение консультаций, продажа, ввод в эксплуатацию и сервисное обслуживание высококачественного оборудования, и прежде всего станков, обрабатывающих центров и линий, с обучением персонала работе на этом оборудовании. Всегда в наличии на складе в Москве запасные части и расходные материалы для всех видов станков.

119334, Москва, Пушкинская наб., 8а
Тел.: (495) 234-60-00 (многоканальный), 956-14-72, 956-14-73,
956-14-75, 956-14-76, 956-14-77; 954 09 04, 954-09-09, 954-09-00
954-12-07, 954-14-63; факс: (495) 954-44-16
E-mail: sales@galika.ru Internet: http://www.galika.ru

GALIKA AG

22 года на российском рынке
1986-2008