



ВЕСТНИК Машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АО "КОМПАНИЯ "РОССТАНКОИНСТРУМЕНТ"

РОССИЙСКОГО СОЮЗА ПРОМЫШЛЕННИКОВ
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗДАЕТСЯ
С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

11
1994



Москва
•Машиностроение•

СОДЕРЖАНИЕ

Барабанов М.В. – Тенденции развития и применения роботов за рубежом	3
КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН	
Дроздов Ю.Н., Мугнецян С.Ф. – Работоспособность контакта тел с пластичной смазкой по критерию заедания при качении со скольжением	8
Крал Ш., Вереш М. – Некоторые результаты экспериментальных исследований с зацеплением Новикова с двумя линиями зацепления	11
Белецкий В.Я. – Проектный расчет кулачкового механизма со ступенчатым кулачком и двухроликowym коромыслом	13
Попов Д.Н., Хван В.Л., Смирнов А.А. – Расчет нестационарных процессов в сложных гидросистемах с распределенными параметрами	16
Радаев Н.Н. – Оптимизация нормативного запаса прочности конструкции и объема испытаний	19
Попов М.В., Вафин Ф.М., Тюрин В.Н. – Выбор параметров системы уравновешивания, использующей дифференциальный цилиндрический барабан	22
Приходько В.М., Сазонова З.С., Кудряшов Б.А. – Физическое моделирование ультразвуковой очистки поверхностей, шаржированных абразивными частицами	24
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Куксенова Л.И., Назаров Ю.А., Кисель В.В., Самылкин В.М., Андреева А.Г., Рыбакова Л.М. – Оценка качества покрытий, полученных финишной антифрикционной безабразивной обработкой поверхностей	28
Чеховой А.Н., Куманин В.И. – Роль локальных напряжений в формировании и развитии очагов микроразрушения при эксплуатации инструментальной стали	37
Грубый С.В. – Выбор условий алмазного микроточения крупногабаритных поверхностей	40
Обработка материалов без снятия стружки	
Евсюков С.А. – Анализ и классификация технологических факторов и процессов листовой штамповки	43
Вниманию читателей	27
Восстановление производственно-экономических связей с Украиной	47

Главный редактор Д.И. ПОЛЯКОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: Александров М.П., Алексейчук Г.П., Арзамасов Б.Н., Битунов В.В., Братухин А.Г., Дроздов Ю.Н. (председатель секции конструирования и расчета машин), Ипатов М.И., Корзинкин М.В., Кузьмицкий А.А., Логунов А.В., Прокопович А.Е., Подураев В.Н. (председатель секции технологии машиностроения), Попов Д.Н., Проскуряков А.В., Рыбакова Л.М., Савилов Ю.В., Савкин А.И. (заместитель главного редактора), Семенов Е.И. (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), Соколов Б.Н., Строганов Г.Б., Третьяков Э.А. (председатель секции организации и экономики производства), Филиппов Е.К., Цыганкова И.А. (ответственный секретарь)

Журнал переводится на английский язык, переиздается и распространяется во всем мире фирмой «Аллертон Пресс» (США)

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Машиностроение»

Сдано в набор 16.09.94. Подписано в печать 28.10.94.
Формат 60x88 1/8. Бумага книжно-журнальная.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 5,88. Усл.кр.-отт. 7,35.
Уч.-изд.л. 7,18. Тираж 1262 экз. Заказ 902.
Цена 6000 р.

Адрес редакции: 129836, Москва, ГСП-110,
проспект Мира, д.106
Телефоны: 287-87-93, 287-23-20

Компьютерный набор фирмы «Аслан»
Телефоны: 151-52-28, 197-44-62

На первой странице обложки

В одном из цехов завода полиграфических красок (г. Торжок, Тверской области)

Фото И.Зотина (Фотохроника ТАСС)

© Издательство «Машиностроение»,
«Вестник машиностроения», 1994

Отпечатано в Подольской типографии Чеховского полиграфического комбината.
142110, г.Подольск, ул.Кирова, 25

стиц. Она благоприятна лишь в том случае, когда частица достаточно мала, а уровень возникающих внутренних напряжений невелик. Чем больше частица, тем больше условный угол вдавливания в матрицу и тем выше возникающие напряжения. По-видимому, этим можно объяснить экспериментально зафиксированный в работе [5] факт, что для инструментальной стали с карбидным упрочнением при циклическом упругопластическом нагружении не наблюдается расслоения на границе матрицы твердого раствора с мелкими (меньше десятых долей микрометра) карбидами, в то время как в микрообъемах твердого раствора, окружающих карбиды округлой формы размером от 1 до 10 мкм уже наблюдались расслоения на границах этих фаз.

При заданной внешней нагрузке $\bar{\sigma}_{\text{вн}} = 0,8\bar{\sigma}_s$ локальные пластические деформации протекают, в основном, в матрице, предел текучести которой значительно меньше предела текучести карбида. Тем не менее, зафиксировано ~10 % частиц карбидной фазы, когда в карбидах наблюдаются следы пластической деформации. Это свидетельствует о том, что величина максимальных напряжений превышает предел текучести карбида на основе молибдена и вольфрама. Плотность полос скольжения (рис. 6) свидетельствует о высокой интенсивности пластической деформации внутри некоторых карбидных частиц.

Таким образом, с помощью микроструктурного анализа экс-



Рис. 6. Полосы скольжения в карбиде стали ЭК-73 после 300 циклов ($\sigma_{\text{ц}} = -2300$ МПа), «ЖЕМ-200СХ», фольга, $\times 73000$

периментально подтверждены расчеты локальных НДС. Величина дефекта плотности может быть достаточно существенной и достигать 20-25 кг/м³ через 3-7 тыс. циклов эксплуатации. Этот факт установлен при эксплуатации пуансонов из стали Р18 и ЭК-73, структура которых являлась объектом расчета в настоящей работе.

На основании результатов расчета и экспериментального исследования можно сделать следующие выводы:

1. При эксплуатации инструментальной стали с внешней нагрузкой, не превышающей предела пропорциональности, величина внутренних напряжений на границах фаз в определенных направлениях может превышать их пределы текучести, приводить к пластической деформации в этих микрообъемах, к развитию субструктуры и поврежденности.

2. Основной причиной возникновения критических напряжений $\sigma_{\text{кр}} > \sigma_s$ является различие в значениях механической прочности и в морфологии фаз.

3. В направлении действия максимальных напряжений изменения формы развиваются микронесплошности. В этих же направлениях локализованы пластические деформации, приводящие к формированию субструктуры.

4. Образование микронесплошностей зависит от формы карбида, типа локального НДС, в формировании которого участвуют близлежащие карбиды, и его расположения относительно направления действия внешней нагрузки.

5. Проведенные расчеты и оценки осуществлены для широкой группы металлических гетерогенных материалов, работающих в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Подобный подход для определения НДС в микрообъемах можно осуществить практически для любой схемы нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блантер М.Е., Чеховой А.Н. О природе малоциклового усталости // Докл. АН СССР. Т. 240. 1978. № 4.
2. Куманин В.И., Ковалева Л.А., Алексеев С.В. Долговечность металла в условиях ползучести. М.: Металлургия. 1988.
3. Черный Ю.Ф., Чеховой А.Н., Каложный В.Л. Использование метода конечных элементов при расчетах штампового инструмента на прочность // Передовой производственный опыт. 1988. № 9.
4. Скуднов В.А. Предельные пластические деформации металлов. М.: Металлургия. 1989.
5. Чеховой А.Н. О структурных изменениях в высокопрочной стали при малоциклового усталости // Изв. АН СССР. Сер. Металлы. 1989. № 6.
6. Чеховой А.Н., Черный Ю.Ф., Каложный В.Л. Расчет структурных напряжений в многофазных материалах // Передовой производственный опыт. 1990. № 9.

УДК 621.941.1

С.В.ГРУБЫЙ, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э.Баумана)

Выбор условий алмазного микроточения крупногабаритных поверхностей

Прецизионная токарная обработка элементов измерительных систем, лазеров, обеспечивающих точность формы в десятые доли микрометра и шероховатость с максимальной высотой неровностей профиля менее 50 нм, находит все более широкое применение в связи с освоением специальных особо точных станков (стендов) мод. МК6501, МК6516, МК6521Ф3, М01805, САТ1805, САТ1815 и др. Возможности такой

обработки в полной мере могут быть реализованы специальными резцами, оснащенными природными монокристаллическими алмазами, в диапазоне микрометрических подач и глубин резания [1].

Особый интерес представляет возможность обработки крупногабаритных поверхностей диаметром до 1000 мм и более вследствие высокой производительности и отсутствия дефектов, вносимых алмазным монокристаллическим резцом в обработанную поверхность. Так, известный американский проект Large Optics Diamond Turning Machine (LO DTM) предусматривает создание специальных сверхпрецизионных стандов для алмазного микроточения поверхностей диаметром 1625 мм и более, а отечественный

стенд. мод. САТ1815 имеет возможность такой обработки поверхностей диаметром до 1500 мм.

На стадии разработки технологического процесса алмазного микроточения крупногабаритных поверхностей необходимо выполнить анализ режимов резания, износа инструмента, сил резания, деформаций технологической системы с целью выбора условий, обеспечивающих минимальную погрешность обработки.

Кинематическая схема резания и усилия, действующие на алмазный резец, при обработке торцовой плоской поверхности приведены на рис. 1. Показано вращение обрабатываемой заготовки с главным движением резания D_r (R_0 - текущий радиус заготовки, определяет положение вершины резца); движение подачи резца D_s по дуге окружности радиуса R (кинематический параметр станда), проходящей через центр заготовки O_1 . Сечение срезаемого слоя образовано главным (1-2) и вспомогательным (1-3) участками радиусной режущей кромки, а подача на оборот

$$S_0 = \left[\frac{\pi R}{3} v_c \sin \left(\arccos \frac{R_0}{2R} \right) \right] \frac{1000}{\omega}, \quad (1)$$

где v_c - скорость подачи при бесступенчатом регулировании с дискретностью 0,001 градус/с (измеряется круговым индуктивным датчиком); ω - частота вращения шпинделя с бесступенчатым регулированием с дискретностью 1 об/мин (измеряется электронным тахометром). Глубина t резания контролируется линейным индуктивным датчиком с дискретностью 1 мкм либо лазерным измерителем перемещений с дискретностью 0,04 мкм.

В статической системе координат XYZ (см. рис. 1) ось X направлена по радиусу заготовки, ось Z совпадает с вектором скорости резания, ось Y - нормаль к обрабатываемой поверхности. Система координат $X'Y'Z'$ образована поворотом системы XYZ вокруг оси Z так, что ось Y' совпадает с единичным вектором \bar{a}_0 - вектором схода стружки. Связь систем координат задается системой уравнений

$$X' = X \cos \eta_c - Y \sin \eta_c; \quad Y' = X \sin \eta_c + Y \cos \eta_c; \quad Z' = Z, \quad (2)$$

где η_c - угол схода стружки, т.е. угол между вектором \bar{a}_0 и осью Y . Передний γ_0 и задний α_0 углы в плоскости

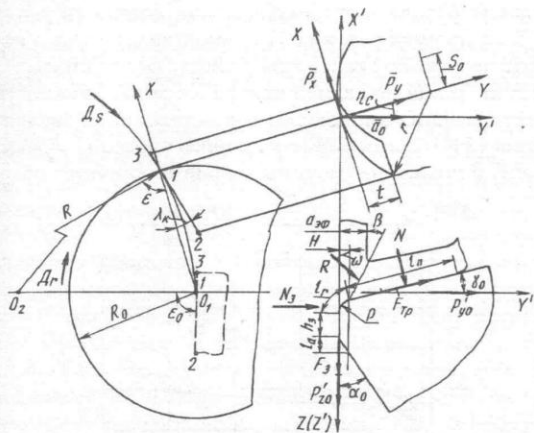


Рис. 1

схода стружки $Y'Z'$ определяются по соответствующим статическим углам с учетом уравнений (1).

Угол η_c рассчитывали по элементарным участкам на режущей кромке с учетом допущений: условный угол схода на элементарном участке равен кинематическому углу наклона кромки, значение элементарного вектора схода стружки пропорционально толщине среза на этом участке, вектор схода стружки равен сумме элементарных векторов. Тогда угол схода

$$\eta_c = \text{sign} A \arccos \left[B / (A^2 + B^2)^{0,5} \right], \quad (3)$$

$$A = \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \sin(\varphi_i + \lambda_k) + \sum_{j=1}^m -\sin \varphi_j \sin(\varphi_j - \lambda_k);$$

$$B = \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \cos(\varphi_i + \lambda_k) + \sum_{j=1}^m \sin \varphi_j \cos(\varphi_j - \lambda_k)$$

(здесь λ_k - кинематический угол наклона режущей кромки; n, m - число участков соответственно на главной и вспомогательной режущих кромках, причем $n/m = \varphi_{0i}/\varphi_{0j}$, где $\varphi_{0i}, \varphi_{0j}$ - предельные углы в плане на главной и вспомогательной режущих кромках в точках 2 и 3).

Угол λ_k определяет текущее положение режущей кромки по отношению к плоскости XY в зависимости от начального угла ϵ_0 установка и радиуса заготовки:

$$\lambda_k = \pm(\epsilon_0 - \epsilon) = \pm(\epsilon_0 - \arccos R_0/2R). \quad (4)$$

Знак в формуле (4) определяется по направлению движения подачи (от периферии или центра вращения заготовки).

Эффективная толщина срезаемого слоя определяется как средняя вдоль радиусной кромки в направлении схода стружки:

$$a_{эф} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{\sin \varphi_i}{\cos(\varphi_i - \eta_c)} + \sum_{j=1}^m \frac{\sin \varphi_j}{\cos(\varphi_j + \eta_c)} \right] \frac{S_0}{n+m}, \quad (5)$$

а средняя ширина $b_{ср}$ срезаемого слоя принята равной длине дуги по середине сечения.

Учитывая, что силы, действующие перпендикулярно к плоскости схода стружки пренебрежимо малы по величине [2], были рассмотрены силы, действующие только в плоскости схода стружки, а напряженное состояние режущего лезвия представлено как обобщенное плоское напряженное состояние. Вследствие этого в плоскости схода стружки определены:

силы стружкообразования, трения и нормальная на передней поверхности:

$$R = 1,41 \tau_p a_{эф} b_{ср} / \sin \beta; \quad F_{Тр} = R \sin(\gamma_0 + \omega); \quad (6)$$

$$N = R \cos(\gamma_0 + \omega);$$

силы трения и нормальная на задней поверхности:

$$F_3 = 0,5 \tau_p b_{ср} l_3; \quad N_3 = F_3 / \mu; \quad (7)$$

а также суммарные составляющие силы резания вдоль осей Y' и Z'

$$P'_{y0} = R \sin \omega + N_3; \quad P'_{z0} = R \cos \omega + F_3, \quad (8)$$

где τ_p - сопротивление обрабатываемого материала пластической деформации в плоскости сдвига; β - угол сдвига; $\omega = (45^\circ - \beta)$ - угол действия; μ - коэффициент

трения пары обрабатываемый материал - алмаз; l_3 - проекция длины контакта по задней поверхности на плоскость резания.

Угол β рассчитывался с учетом упругих постоянных двух соприкасающихся тел и влияния скорости резания [3]; длина контакта по задней поверхности состоит из дуги l , радиуса скругления кромки ρ , площадки износа h_3 , фаски l_3 от упругого восстановления материала, а проекция длины l_3 контакта определена с учетом данных работы [4].

Тогда составляющие силы резания, действующие на резец в системе XYZ, с учетом связи систем координат определяются выражениями

$$P_z = P'_{z0}; P_y = P'_{y0} \cos \eta_c; P_x = P'_{y0} \sin \eta_c. \quad (9)$$

Связь формул (1) - (9) реализована в виде расчетного алгоритма в среде Суперкалка, что позволяет проводить оперативный анализ при изменении исходных данных. В табл. 1 приведены расчетные составляющие силы резания для различных обрабатываемых материалов: алюминиевого сплава АМгб (ГОСТ 4784-74); бескислородной меди МОб (ГОСТ 859-78); прецизионного сплава 36Н (ГОСТ 10994-74); титанового сплава ВТЗ-1 (ГОСТ 19807-74), а также рассчитанные по методике А.Н.Резникова температуры θ_1 передней и θ_2 задней поверхностей и температура θ_d деформации. Исходные данные: обработка на стенде мод. САТ1815 ($R = 726,8$ мм, $\epsilon_0 = 95^\circ$); $R_0 = 100$ мм; $v_c = 0,003$ градус/с; $\omega = 150$ об/мин; $t = 7$ мкм; $\gamma_0 = 0$; $\alpha_0 = 12^\circ$; $\rho = 0,01$ мкм; радиус при вершине 3,5 мм; нулевой износ резца. Из табл. 1 видно, что наименьшие значения сил резания и температур получены при алмазном микроточении сплава АМгб и меди МОб, что является одной из причин достижения высокой точности и качества обработки поверхностей из этих материалов.

Наиболее эффективный путь управления силами резания для выбранного обрабатываемого материала - изменение режимных параметров: подачи и глубины резания. Однако при обработке крупногабаритных поверхностей эти параметры следует выбирать с учетом технологических ограничений по точности и качеству обработки. Так, для обеспечения параметра шероховатости медной или алюминиевой поверхности $R_{\max} < 50$ нм рекомендуемые значения подачи должны находиться в пределах 5-10 мкм/об, наибольшие допустимые значения - 15-16 мкм/об. При обработке крупногабаритной поверхности следует учитывать значительное увеличение основного технологическо-

Таблица 1

Материал	Составляющие силы резания, мН			Температура, °С		
	P_z	P_y	P_x	θ_1	θ_2	θ_d
Сплав АМгб	191,3	148,2	32,4	11,8	21,0	21,7
Сплав ВТЗ-1	515,6	402,6	88,1	59,9	129,7	144,9
Сплав 36Н	274,0	214,7	47,0	31,1	59,1	62,4
Медь МОб	223,1	173,1	37,9	10,1	11,5	11,4

Таблица 2

Параметр	Величина параметра при скорости подачи v_c , градус/с					
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,009
S_0 , мкм/об	4,8	9,5	14,3	19,1	28,6	42,9
L , км	154,8	77,4	51,6	38,7	25,8	17,2
t_0 , мин	656,9	328,5	219,0	164,2	109,5	73,0

го времени и пути резания одного прохода при выборе меньших значений подач. В табл. 2 приведены расчетные значения подачи, времени и пути резания одного прохода при обработке поверхности диаметром 1000 мм на стенде мод. САТ1815 ($\omega = 150$ об/мин) в зависимости от скорости подачи. Рассматривая алмазное микроточение как финишный метод обработки крупногабаритной поверхности, рекомендуем при чистовом проходе резца назначить скорость подачи $v_c = 0,003$ градус/с; в случае обработки с последующим полированием свободным абразивом скорость подачи может быть увеличена до $v_c = 0,006-0,007$ градус/с.

На составляющие силы резания существенно влияют: текущий радиус заготовки, который определяет значения параметров, характеризующих процесс резания, и путь резания, пройденный вершиной резца с начала прохода. Влияние радиуса заготовки проанализировано для случая первого чистового прохода резца при его движении от периферии к центру вращения заготовки (исходные данные те же, обрабатываемый материал - медь, $t = 4$ мкм, $v_c = 0,003$ градус/с, $\alpha_0 = 5^\circ$). На рис. 2 приведены зависимости влияния радиуса R_0 заготовки на кинематический угол λ_k наклона кромки, угол η_c схода стружки и угол β сдвига. Зависимости показывают, что указанные параметры уменьшаются при приближении резца к центру вращения. Вследствие этого незначительно увеличивается подача (в пределах от 14,3 до 15,2 мкм/об), эффективная толщина срезаемого слоя практически не изменяется (0,36 - 0,35 мкм). Вместе с тем путь резания в соответствии с движением вершины резца по архимедовой спирали увеличивается и составляет $L = 52$ км для полного прохода при приведенных режимах (см. табл. 2). Учитывая, что средняя стойкость резцов при алмазном микроточении равна 181,5 км по пути резания [1], влияние его износа необходимо рассматривать при анализе сил резания.

Износ резца по задней поверхности в зависимости от пути резания аппроксимирован степенной зависимостью [5] и составляет для полного прохода 3,5 мкм. На рис. 3 показаны расчетные кривые влияния теку-

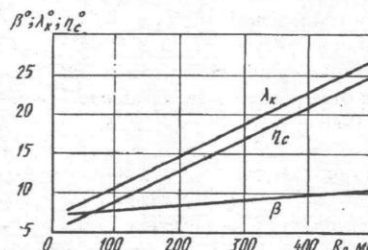


Рис. 2

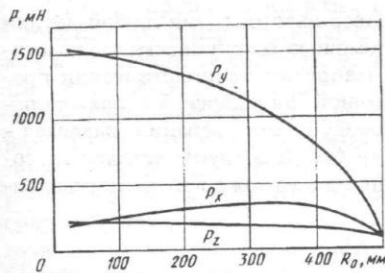


Рис. 3

щего радиуса заготовки на составляющие силы резания с учетом изменения параметров и увеличения износа резца. Отмечен существенный рост радиальной составляющей силы резания P_y , что указывает на увеличение погрешности обработки при приближении резца к центру вращения заготовки. Сила резания также резко возрастает с увеличением глубины резания. Поэтому глубину резания при чистовом проходе рекомендуется выбирать в диапазоне 3–5 мкм.

На основании анализа сил резания выполнена оценка составляющей погрешности обработки (отклонение от плоскостности), вызванной деформацией технологической системы и радиальным износом резца. Зависимости радиального износа h_r , деформации Δy технологической системы и суммарной погрешности Δ обработки при жесткости $c = 25$ (сплошные кривые) и 200 Н/мкм (штриховые кривые) технологической системы приведены на рис. 4. С увеличением жесткости до $c = 2000$ Н/мкм суммарная погрешность обработки снижается ($\Delta = 0,32$ мкм). Дальнейшее увеличение жесткости практически не влияет на повышение точности обработки, которая будет опре-

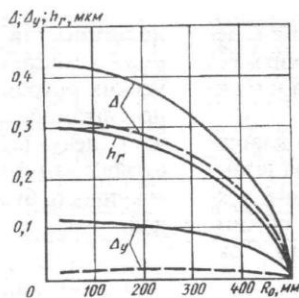


Рис. 4

деляться величиной h_r . В этом случае резервом повышения точности обработки является использование резцов повышенной износостойкости, которая может быть достигнута в результате отбора бездефектных монокристаллов алмаза, рациональной ориентации и заточки режущей кромки.

Результаты анализа и выбранные условия алмазного микроточения использованы на НПП «Преопта» при обработке на стенде мод. САТ1815 плоских и сферических алюминиевых и медных поверхностей отражателей диаметром 380–1000 мм; зональная погрешность формы в обеспечении технических требований составила 1–1,5 интерференционных колец (0,25 – 0,38 мкм) с контролем по пробному стеклу.

Проведенный анализ и результаты расчетов определили условия и режимы алмазного микроточения медных и алюминиевых крупногабаритных поверхностей, обеспечивающие отклонение от плоскостности менее 0,4 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грубый С.В., Муратова Н.И. Повышение эффективности прецизионной обработки резцами, оснащенными природными алмазами. // Изв. вузов. Машиностроение. 1990. № 9. С. 107–112.
2. Грубый С.В. Расчет сил и контактных нагрузок для резцов с радиусной режущей вершиной. // Изв. вузов. Машиностроение. 1990. № 2. С. 134–139.
3. Добровольский Г.Г., Жоголев Д.А. Расчет угла сдвига и усадки стружки при алмазном микроточении // Сверхтвердые материалы. 1985. № 5. С. 44–49.
4. Виноградов А.А. К вопросу определения сил на задней поверхности инструмента // Сверхтвердые материалы. 1989. № 1. С. 46–51.
5. Добровольский Г.Г., Дятлов Ю.А. Точность формы изделий при алмазном микроточении // Сверхтвердые материалы. 1990. № 4. С. 58–62.

Обработка материалов без снятия стружки

УДК 621.98.043

С.А.ЕВСЮКОВ, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э.Баумана)

Анализ и классификация технологических факторов и процессов листовой штамповки

Развитие любой области науки и техники, в том числе листовой штамповки, требует постоянного накопления, переработки, анализа хранения и быстрого извлечения необходимой информации. Причем даже использование современных ЭВМ не всегда позволяет обработать и проанализировать все возрастающий поток информации. Для ускорения обработки информации нужна более компактная форма ее представления. Во многом способствовать этому может научная классификация. Причем правильная классификация позволяет не только обрабатывать уже имеющуюся информацию, но и служит инструментом для получения новых знаний. Здесь нельзя не согласиться с

Е.И.Исаченковым, который говорит о проблеме классификации технологических процессов обработки металлов давлением (ОМД) следующее: «... правильное понимание существующих и прогнозируемых перспективных технологических процессов ОМД может быть достигнуто лишь на основе их научной классификации» [1].

Существует достаточно много систем классификации технологических процессов. Например, можно указать на международную классификацию изобретений (МКИ). Известны также достаточно подробные классификации процессов ОМД, в том числе классификации процессов штамповки жидкостными и эластичными средами, разработанные Е.И.Исаченковым [1]. Положив в основу этих классификаций такие объективные критерии и признаки как вид среды, применяемой в качестве пуансона и матрицы, вид исходной заготовки, условия деформирования в главном участке очага деформации, скорость нагружения