

нормальную составляющие силы в процессе резания единичным зерном с переменным заглублением при плоском шлифовании.

Применяя динамическую тарировку динамометра, определяют значения составляющих силы резания.

Итак, разработанная методика позволяет оценивать влияние быстродействия применяемой динамометрической аппаратуры на регистрируемые силы; производить динамическую тарировку динамометра совместно с регистрирующей аппаратурой в условиях, идентичных процессу резания единичным зерном; определять характеристики динамометра и сводить до минимума погрешности измерения, вызванные инерционностью как отдельных элементов, так и всей измерительной системы; использовать для измерения сил при резании единичным зерном традиционный способ динамометрирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.А., Мифлиг Д.М., Мельник В.А. Силовые и энергетические параметры при царапании гранита единичным алмазным зерном // Сверхтвердые материалы. – 1985. – № 3. – С. 52–58.
2. Измерение сил резания на единичном алмазном зерне / Х. Зайфарт, А.А. Марченко, Г.Ф. Скрипко и др. // Синтет. алмазы. – 1978. – № 6. – С. 18–23.
3. Химач О.В. О силовых зависимостях при резании единичным зерном // Синтет. алмазы. – 1972. – № 6. – С. 52–56.
4. Янг. Вопросы проектирования динамометров для измерений усилий в процессе плоского шлифования // Тр. америк. о-ва инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – М., 1968. – № 1. – С. 131–136.

УДК 621.923.02

В.И. ТУРОМША, канд.техн.наук,
А.П. ПАРХУТИК, канд.физ.-мат. наук,
С.В. БИЧАНИН (БПИ)

ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ СИСТЕМЫ СПИД И ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА НА СКОРОСТЬ СЪЕМА МАТЕРИАЛА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

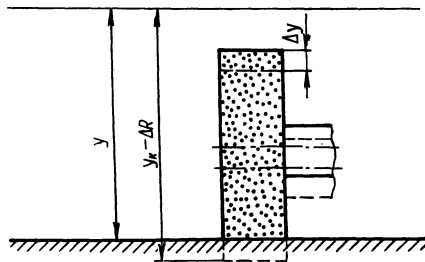
Действительную скорость съема материала при шлифовании нельзя задать кинематической настройкой станка [1]. Это вызвано тем, что глубина резания меньше глубины, заданной настройкой, вследствие упругих деформаций в системе СПИД и размерного износа инструмента. Поскольку скорость съема материала является основным параметром, влияющим на стоимость и производительность операции шлифования, учет названных параметров позволяет существенно повысить точность математической модели оптимизации режимов резания.

При плоском шлифовании действительная скорость подачи на глубину шлифования, которая определяет скорость съема материала [2],

$$\frac{dy}{d\tau} = n\Gamma P_y,$$

где y – текущая координата обрабатываемой поверхности (рис. 1); n – чис-

Рис. 1. Влияние упругих деформаций и износа инструмента на глубину шлифования



по проходов в единицу времени; Γ – параметр шлифования, равный отношению действительной глубины шлифования к радиальной составляющей P_y силы резания.

При известной жесткости j системы СПИД с учетом размерного износа ΔR инструмента получим

$$\frac{dy}{d\tau} = jn\Gamma [(y_k - \Delta R) - y], \quad (1)$$

где y_k – координата шлифовального круга, определяемая кинематической настройкой станка (рис. 1).

Временная зависимость износа круга при работе в режиме самозатачиваивания имеет вид [3]

$$Q_a(\tau) = C_Q \lambda^{-1} \beta^{-1} Q_T^\beta (1 - e^{-\lambda \beta \tau}), \quad (2)$$

где C_Q и β – параметры зависимости, связывающей скорость износа Q_a круга со скоростью съема Q_M материала в виде $Q_a = C_Q Q_M^\beta$ [4]; λ – коэффициент затупления; Q_T – максимально возможная скорость съема материала при подаче продольной $S_{пр}$, поперечной $S_{поп}$ и глубине шлифования t ; $Q_T = S_{пр} S_{поп} t$.

В то же время $Q_a(\tau)$ можно выразить формулой

$$Q_a(\tau) = \pi B D \Delta R(\tau), \quad (3)$$

где B и D – ширина и диаметр круга в момент времени $\tau = 0$; $\Delta R(\tau)$ – радиальный износ круга за время τ .

Из уравнений (2) и (3) найдем:

$$\Delta R(\tau) = \frac{1_x}{\pi D B} C_Q \lambda^{-1} \beta^{-1} Q_T^\beta (1 - e^{-\lambda \beta \tau}), \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что износ круга в зависимости от времени шлифования изменяется нелинейно. Кроме того, оптимальная глубина шлифования в общем случае может быть не постоянной для каждого прохода [5]. С учетом этого решение уравнения (1) можно получить, рассматривая последовательно все проходы.

Для первого прохода

$$y_k - \Delta R = t_1 - \Delta R(\tau_1),$$

где t_1 — глубина резания на первом проходе; $\Delta R(\tau_1)$ — радиальный износ круга после первого прохода; τ_1 — время резания на первом проходе.

Решение дифференциального уравнения (1) для $\tau = \tau_1$ при начальных условиях $\tau = 0, y = 0$ имеет вид

$$y_1 = t_1 - \Delta R(\tau_1) - \frac{t_1 - \Delta R(\tau_1)}{j\Gamma} (1 - e^{-jn\Gamma\tau_1}), \quad (5)$$

где y_1 — координата обрабатываемой поверхности после первого прохода.

Все слагаемые, входящие в уравнение (5), известны. Обозначим

$$\Delta y = y_k - \Delta R - y.$$

Тогда для i -го прохода получим

$$y_i = \sum_{k=1}^i t_k - \Delta R(\tau_i) - \Delta y_i, \quad (6)$$

где $\Delta R(\tau_i)$ — радиальный износ круга после i -го прохода.

Значение $\sum_{k=1}^i t_k - \Delta R(\tau_i)$ в уравнении (6) для любого прохода известно, а Δy_i определяется предыдущими проходами, причем, как следует из выражения (5), значение y_{i-1} всегда известно.

Для определения Δy_i после i -го прохода по известному значению Δy_{i-1} при известном законе изменения $t_k(\tau)$ найдем некоторое время τ_i'' , которое потребуется в случае шлифования исключительно с параметрами i -го прохода таким образом, чтобы Δy стала равной Δy_{i-1} (рис. 2). Для этого используем формулу

$$\Delta y_{i-1} = \frac{t_i - [\Delta R(\tau_{i-1}) - \Delta R(\tau_{i-2})]}{j\Gamma} (1 - e^{-jn\Gamma\tau_i''}).$$

Отсюда

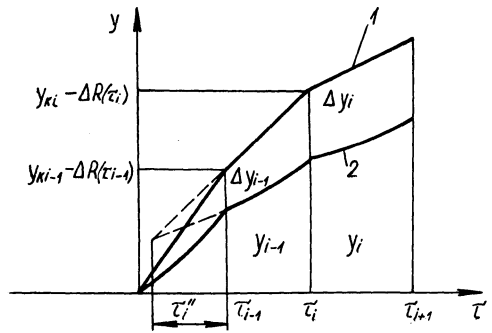
$$\tau_i'' = -\frac{1}{jn\Gamma} \ln \left(1 - \frac{\Delta y_{i-1} j\Gamma}{t_i - [\Delta R(\tau_{i-1}) - \Delta R(\tau_{i-2})]} \right).$$

Значение Δy_i определим по формуле

$$\Delta y_i = \frac{t_i - [\Delta R(\tau_i) - \Delta R(\tau_{i-1})]}{j\Gamma} (1 - e^{-jn\Gamma\Delta\tau_i}), \quad (7)$$

где $\Delta\tau_i = \tau_i'' + (\tau_i - \tau_{i-1})$ (см. рис. 2).

Рис. 2. Определение координаты обработанной поверхности:
 1 - зависимость $y_{\kappa} - \Delta R = f(\tau)$;
 2 - зависимость $y = f(\tau)$



Таким образом, выполняя итерации с использованием зависимости (7) до тех пор, пока не выполнится условие $\tau = \tau_{\text{в}}$, где $\tau_{\text{в}}$ — время шлифования до начала выхаживания, получим уравнение

$$y = \sum_{\kappa=1}^i t_{\kappa} - \Delta R(\tau_{\text{в}}) - \Delta y_i, \quad (8)$$

которое справедливо на этапе шлифования.

Для этапа выхаживания уравнение (1) имеет вид

$$\frac{dy}{d\tau'} = jn\Gamma [(y_{\kappa} - \Delta R) - y], \quad (9)$$

где τ' — текущее время выхаживания.

Решение уравнения (9) при начальном условии в виде уравнения (5) в случае $\tau = \tau_{\text{в}}$ имеет вид

$$y = \sum_{\kappa=1}^i t_{\kappa} - \Delta R(\tau_{\text{в}}) - \Delta y_i e^{-jn\Gamma\tau'}. \quad (10)$$

Таким образом, зависимости (8) и (10) позволяют оценить влияние податливости системы СПИД и износа инструмента на съем материала в любой момент времени τ шлифования или τ' выхаживания. Кроме того, при заданном времени выхаживания зависимость (10) позволяет определить требуемое суммарное перемещение шлифовального круга на глубину шлифования $y_{\kappa} =$

$= \sum_{\kappa=1}^i t_{\kappa}$, определяемое кинематической настройкой станка. Для этого необходимо выполнить условие

$$|y - z| \leq \delta,$$

где z — припуск на обработку; δ — требуемая точность размера детали.

Очевидно, что это условие будет выполнено лишь при $y_{\kappa} > z$. Поэтому включение в математическую модель оптимизации режимов резания при мно-

гопроходной абразивно-алмазной обработке уравнения (10) позволяет определить параметры процесса с условием достижения требуемой точности обработки детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т в е р с к о й М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. — М., 1982. — 208 с. 2. Г а н Р. Шлифование с контролем усилия врезания // Тр. америк. о-ва инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения, — М., 1964. — № 3. — С. 69–73. 3. О с т р о в с к и й В.И. Оптимизация условий эксплуатации абразивного инструмента: Обзор. — М., 1984. — 56 с. 4. Ф и л и м о н о в Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов. — Л., 1973. — 136 с. 5. И в а т а, М у р о ц у, О б а. Оптимизация режимов резания многопроходных операций с учетом вероятностного характера процессов механической обработки // Тр. америк. о-ва инженеров-механиков, Конструирование и технология машиностроения. — М., 1977. — № 1. — С. 152–160.

УДК 621.923:531.3

Г.В. ТИЛИГУЗОВ (БПИ),
И.А. КИРПИЧЕНКО (АН БССР),
Е.С. ЯЦУРА (БПИ), кандидаты техн.наук

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МАКРОПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Существенное снижение виброактивности процесса шлифования может быть обеспечено за счет достижения идентичности условий протекания процессов правки и шлифования. В этом случае на рабочей поверхности шлифовального круга образуется особый макропрофиль, исключающий колебания точек контакта инструмента и обрабатываемой поверхности детали. В результате уменьшается степень влияния относительных колебаний инструмента и детали в зоне резания на образование периодической составляющей формы шлифованной поверхности.

Требуемые условия формирования рационального макропрофиля рабочей поверхности круга частично обеспечиваются [1] тем, что при правке в станочной системе создается дополнительная сила, сумма которой с силой, возникающей при правке, по величине и направлению равна силе резания в процессе шлифования. Однако при этом появляется необходимость в точной имитации как величины и направления силы резания при шлифовании, так и величины и направления силы резания при правке шлифовального круга. Данное обстоятельство существенно снижает эффективность указанного метода с точки зрения производительности и качества поверхностей шлифованных деталей.

Более перспективными являются методы [2, 3], суть которых состоит в том, что на шпинделе станка устанавливаются два одинаковых шлифовальных круга, а дополнительная сила в станочной системе при правке одного из них создается силой резания в процессе одновременного шлифования детали другим кругом. В результате достигается полная идентичность условий нагружения станочной системы, возникающих в процессе правки, и условий ее нагружения при шлифовании деталей. Кроме того, исключаются непроизводитель-