

У ДК 621.923

С.М. Братан, доцент, канд. техн. наук,

Ю.К. Новоселов, проф., д-р техн. наук,

Д.Е. Сидоров

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevastopol.ua

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ЧИСТОВОМ И ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ

Рассмотрено установление взаимосвязей режимов обработки с текущими параметрами зоны контакта при чистовом и тонком шлифовании.

Математическое моделирование операций обработки заготовок абразивными инструментами позволяет решить многие практические задачи по выбору и конструированию абразивного инструмента, назначению методов и последовательности обработки, оптимальному управлению технологическим оборудованием[1].

Определение выходных технологических параметров шлифования с помощью математических моделей позволяет значительно упростить поиск оптимальных режимов и является актуальной задачей.

Весьма часто при моделировании операция рассматривается как динамическая система [2]. Одна из возможных схем декомпозиции операции как динамической системы рассматривается в работе [3]. По функциональным признакам операция разбита на подсистемы станка, приспособления, инструмента, заготовки, СОЖ. Каждая из подсистем имеет свой набор свойств, параметров состояния, историю развития, вектор входных и выходных переменных, вектор возмущающих воздействий.

Центральной подсистемой является зона контакта заготовки с инструментом. К параметрам состояния зоны [3] относятся ее размеры, форма, параметры процесса стружкообразования, скорость съема материала, параметры изнашивания и разрушения абразивного материала. Размеры зоны находятся в прямой связи с размерами и пространственным расположением инструмента и заготовки, состоянием поверхностей круга и заготовки. В связи с изменением размеров, пространственного расположения и состояния контактирующих поверхностей при каждом новом

обороте заготовки будут изменяться и параметры состояния зоны контакта и как следствие – показатели качества и эффективности операции шлифования.

Поэтому целью данной работы является установление взаимосвязей режимов обработки с текущими параметрами зоны контакта.

Для установления параметров зоны контакта рассмотрим схему процесса круглого наружного шлифования (рисунок 1).

В сечении плоскостью, перпендикулярной оси детали, зона контакта имеет форму двух сегментов с общей хордой. При шлифовании после выхода из зоны радиус заготовки уменьшается на величину радиального съема материала Δr , радиус круга – на величину радиального износа круга ΔR .

Это приводит к изменению формы самой зоны. Обрабатываемая поверхность встречается с абразивными зернами, наиболее удаленными от центра его вращения, при этом зона контакта имеет форму двух криволинейных сегментов. Форма зоны меняется и за счет возникновения упругих деформаций круга и заготовки.

Максимально возможную (номинальную) глубину микрорезания абразивными зернами в плоскости, проходящей через оси вращения круга и заготовки (основная плоскость) обозначим через t_f . Действительная глубина будет меньше максимально возможной на величину радиального съема материала. При повороте рассматриваемого сечения заготовки на угол ϕ максимальная глубина определяется соотношением

$$t(z) = t_f - \frac{z^2(D+d)}{d \cdot D} = t_f - \frac{z^2}{D_\phi},$$

где z - координата сечения от основной плоскости; D и d - диаметр круга и заготовки, соответственно; D_ϕ – эквивалентный диаметр.

После выхода из зоны контакта на поверхности заготовки остается шероховатость, поскольку абразивный круг не имеет непрерывной режущей кромки. Шероховатость поверхности распределена в слое толщиной H , математическое определение которому будет дано после анализа закономерностей съема материала в зоне. Номинальная глубина резания взаи-

режима она в несколько раз ее превышает. Об этом свидетельствуют расчеты, выполненные для схемы круглого наружного врезного шлифования.

Таблица 1 – Влияние режима на параметры процесса шлифования

Режим шлифования			Радиальный съем материала , мкм	Слой шероховатости поверхности, мкм	Номинальная глубина микро- резания, мкм
Скорость детали, м/с	Продольная подача, мм/об	Поперечная подача, мкм/ход			
0,25	4,0	16	2,3	6,7	9,0
0,25	8,0	4	1,1	4,8	5,9
0,50	4,0	4	0,6	4,9	5,5
0,50	8,0	16	4,6	13,4	18,0
0,35	5,6	8	1,6	6,8	8,4
0,35	5,6	8	1,6	6,8	8,4
0,25	4,0	4	0,6	3,5	4,1

Для вывода зависимости, характеризующей баланс перемещений, рассмотрим конкретное сечение заготовки рисунок 1, согласно которому для i -го оборота имеем

$$A_i = R_i + r_{i-1} - t_{fi}; \quad (1)$$

соответственно для $i-1$ оборота получаем

$$A_{i-1} = R_{i-1} + r_{i-2} - t_{fi-1} \quad (2)$$

где t_{fi}, t_{fi-1} – фактическая глубина микрорезания наиболее выступающим зерном на i -м и $i-1$ -м обороте; R_i, R_{i-1} – радиусы шлифовального круга на i -м и $i-1$ -м обороте; A_i, A_{i-1} – межцентровые расстояния на i -м и $i-1$ -м обороте соответственно; r_i, r_{i-1} – радиусы заготовки перед совершением i -го и $i-1$ -го оборота.

После вычитания из (2) зависимости (1) получим ΔA_i – приращение межцентрового расстояния A_i на i -обороте

$$\Delta A_i = \Delta R_i + \Delta r_{i-1} - \Delta t_{fi} \quad (3)$$

где ΔR_i – изменение радиус-вектора инструмента на i -м обороте, обусловленное линейным износом круга; Δr_{i-1} – изменение радиуса заготовки на $i-1$ -м обороте, как результат механического

хрупкого объемного и эрозионного процессов съема материала;
 Δt_{fi} – приращение фактической глубины резания.

Текущее значение межцентрового расстояния

$$A_i = A_{i-1} + S_{i-1} - S_i + \Delta A_{ti} - \Delta A_{yi}$$

или

$$\Delta A_i = \Delta S_i + \Delta A_{ti} - \Delta A_{yi} \quad (4)$$

где ΔA_i – приращение межцентрового расстояния A_i на i -обороте

за счет температурных деформаций; $\Delta A_{yi} = \frac{\Delta P_{yi}}{j_{TC}}$ – приращение

упругих отжаты в технологической системе на i -м обороте.

Здесь P_{yi} – нормальная составляющая силы шлифования; j_{TC} – жёсткость технологической системы; ΔS_i – перемещение шлифовального круга за i -ий оборот вследствие радиальной подачи.

После совместного решения уравнений (3) и (4) с учетом направления подачи получим уравнение баланса перемещений в технологической системе в приращениях

$$\Delta S_i = \Delta R_i + \Delta r_{i-1} + \Delta t_{fi} - \Delta A_{ti} + \Delta A_{yi} \quad (5)$$

или

$$\Delta t_{fi} = \Delta R_i + \Delta r_{i-1} + \Delta S_i - \Delta A_{ti} + \Delta A_{yi}. \quad (6)$$

Зависимости (5) и (6) определяют изменение состояния технологической системы для любого момента времени и справедливы для схем круглого плоского и торцевого шлифования, выражения демонстрирует, что состояние системы при шлифовании зависит от текущего и предшествующего этапов обработки, зависит от состояния инструмента, упругих деформаций и т.д.

Анализ зависимостей (5), (6) показывает, что поперечная подача на j -ом обороте (проходе) расходуется на приращение глубины микрорезания, компенсацию радиального съема материала предшествующего оборота, износ круга, приращение упругих и температурных деформаций. Зависимость отличается от известных наличием в правой части приращения глубины микрорезания, которая в ряде случаев может быть больше других слагаемых. Так, для современных круглошлифовальных станков при диаметре обрабатываемой заготовки до 100 мм податливость системы шпиндель шлифовальной бабки шпиндель передней бабки

составляет от 0,02 до 0,03 мкм/Н. При шлифовании кругами высотой 40 мм, зернистостью 25 радиальная составляющая силы резания равна 100...150 Н. Следовательно упругие отжатия в системе лежат в пределах от 2 до 4,5 мкм, а глубина микрорезания меняется от 4 до 18 мкм [1] и по своей абсолютной величине значительно превышает упругие деформации. Таким образом, полученная поправка является существенной и в общем балансе перемещений может составлять до 60...80 %.

Принципиальная схема изменения приращений, за период обработки одной поверхности изображена на рисунке 2.

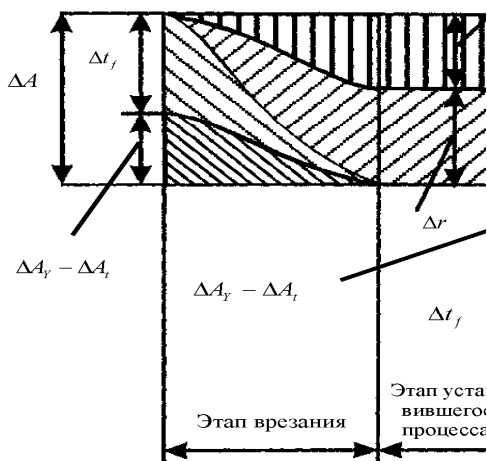


Рисунок 2 – Изменение радиального съема материала, износа круга, приращений упругих деформаций и глубины резания за время одного цикла при круглом наружном шлифовании

При шлифовании без предварительного натяга на этапе врезания в начальный момент времени почти вся поперечная подача идет на приращение упругих деформаций и глубины микрорезания. С увеличением t увеличиваются радиальный съем материала и износ круга, поэтому для дальнейшей части процесса приращения деформаций и глубины уменьшаются, а на этапе установившегося процесса они стремятся к нулю. Поперечная подача на этом этапе почти полностью расходуется на радиальный съем материала и износ круга. На этапе выхаживания приращения

упругих деформаций и глубины отрицательны и асимптотически стремятся к нулю при увеличении τ . Уменьшение глубины t_f приводит к снижению Δr и ΔR , которые при увеличении τ также стремятся к нулю. Анализ зависимости (6) показывает, что установление параметров i -го контакта возможно только при наличии информации о $i-1$ -ом контакте.

Использование зависимости (6) позволяет соблюсти второй принцип анализа операций шлифования. Уравнение баланса перемещений (6) при шлифовании с изменением режима резания и параметров состояния подсистем является основой прогнозирования пространственного расположения инструмента и заготовки, размеров зоны контакта, а, следовательно, и параметров качества обработанной поверхности. Для его решения необходимо иметь зависимости для вычисления радиальной составляющей силы резания, съема материала, износа круга, упругих и тепловых деформаций элементов технологической системы.

Выражение (6) позволяет назначить режимы, прогнозировать величину удаленного съема материала, определять значение управляющих воздействий, для этого нужно определить функции, входящие в состав выражения (6), что является задачей следующих исследований.

Библиографический список

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова — М.: Машиностроение, 1977. — 391 с.
2. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В.Д. Цветков. — Минск: Наука и техника, 1979. — 264 с.
3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. — 232 с.

Поступила в редакцию 22.02.2005 г.