

**И.В. Подборнов, В.И. Свирцев, Л.Х. Зубаирова**

Пермский государственный технический университет

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ПЛАНЕТАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Приведена методика назначения оптимальных параметров режима плоского торцового планетарного шлифования, реализованная в картах качества шлифованной поверхности. Дан пример определения оптимальных режимов при заданных ограничениях по шероховатости поверхности и глубине дефектного слоя.

При технологической подготовке производства выбор, назначение и технологическое обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей машин, определяющих их эксплуатационные свойства, осуществляются с недостаточной научной обоснованностью. Вместе с тем существует реальная возможность технологического управления формированием состояния поверхностного слоя деталей при их изготовлении за счет рационального назначения для каждого конкретного случая параметров режима обработки.

При планетарной схеме шлифование ведется планетарной головкой, имеющей несколько шлифовальных кругов чашечной формы, вращающихся вокруг своих осей и оси планетарной головки. В зависимости от конструкции планетарной головки, передача вращения шлифовальным кругам вокруг своих осей производится от шпинделя станка через водило при обкатке зубчатых колес (сателлитов), закрепленных на одних осях со шлифовальными кругами, вокруг неподвижного зубчатого колеса с наружным или внутренним зацеплением.

В работе [1] получено расчетное выражение для определения высотного параметра шероховатости  $R_a$  при плоском торцовом планетарном шлифовании в виде

$$R_a = 0,18 \left[ 19,41V_d + 24,37d_3 - 3,67 - 2,948 \sqrt{\frac{V_d (19,6V_d + 24,22d_3 - 0,3433)^{3/2}}{\eta_3 (V_k + V_{пер}) l \sqrt{D_3}}} \right], \quad (1)$$

а в работе [2] получено расчетное выражение для определения максимальной глубины вторично отпущенного слоя  $x_M^{TP}$  в виде

$$x_M^{TP} = \sqrt[3]{2 \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \frac{q_0 a t_0}{\rho P_{TP}^0}}, \quad (2)$$

где  $V_d$  – продольная скорость детали;

$V_k$  – скорость абразивного резания;

$V_{пер}$  – скорость перемещения круга относительно детали;

$d_3$  – характерный размер абразивного зерна;

$\eta_3$  – число абразивных зерен на единице площади рабочей поверхности инструмента,  $\eta_3 = 1 / (1,75d_3)^2$ ;

$l$  – базовая длина при определении шероховатости;

$D_3$  – эквивалентный диаметр;

$a$  – коэффициент температуропроводности материала детали;

$t_0$  – время прохождения теплового источника над точкой шлифуемой поверхностью,  $t_0 = \frac{2h}{V_{пер}}$ ;

$h$  – полуширина теплового источника;

$q_0 = q\beta$  – плотность теплового потока, поступающего в деталь;

$q = \frac{P_z V_k}{S_{ABK}}$  – общая плотность теплового потока в зоне резания;

$P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, зависящая от глубины шлифования  $t$ ;

$S_{ABK}$  – площадь зоны контакта абразивного инструмента с деталью,

$\beta$  – коэффициент тепловода в деталь;

$P_{TP}^0$  – мощность фазовых превращений для вторично отпущенного слоя;

$\rho$  – плотность материала детали.

Анализ полученных расчетных выражений для определения шероховатости поверхности и глубины дефектного слоя позволяет установить основные управляемые факторы, влияющие на выходные характеристики процесса шлифования. Ими являются: характеристика абразивного инструмента ( $d_3, \eta_3$ ) и параметры режима шлифования ( $t, V_d$ ). При проектировании операции шлифования задача обеспечения требуемого качества поверхностного слоя сводится к определению оптимальных режимов шлифования ( $t, V_d$ ) без проведения сложных и дорогостоящих в производственных условиях работ.

Задача определения оптимальных режимов резания – одна из наиболее массовых и встречается при разработке различных операций механической обработки. При этом, исходя из заданных условий обработки, целей и задач

оптимизации, возникает большое количество вариантов постановки этой задачи. При описании процесса обработки выделяют входные и выходные параметры, связь между которыми определяется сложными функциональными зависимостями. Совокупность этих зависимостей принято рассматривать как математическую модель процесса обработки. При выполнении чистовых и отделочных операций шлифования технические ограничения по шероховатости поверхности и глубине дефектного слоя являются доминирующими в системе уравнений, описывающих модель оптимизируемого процесса.

Более полно установить рациональные технологические параметры режима шлифования можно путем построения карт качества шлифованной поверхности. Основные положения, лежащие в основе этого метода, состоят в следующем [3]. Полученные нами функциональные зависимости для прогнозирования шероховатости поверхности и глубины дефектного слоя формируют два технических ограничения на условия шлифования в виде

$$R_a(\eta_3, d_3, V_d) \leq R_a^*, \quad (3)$$

$$X_M^{TP}(\eta_3, d_3, \rho, P_{TP}^0, V_d, t) \leq X_M^*, \quad (4)$$

где  $R_a^*$ ,  $X_M^*$  – соответственно предельно допустимые шероховатость поверхности и глубина дефектного слоя при выполнении операции шлифования.

Параметры, характеризующие условия обработки, от которых зависят  $R_a$  и  $X_M^{TP}$  разделяют на неуправляемые и управляемые при выполнении операции. Неуправляемые параметры принимают дискретные значения при выполнении операций. К ним относятся: геометрические параметры абразивных зерен ( $d_3$ ); параметр объемного строения кругов ( $\eta_3$ ); характеристики обрабатываемого материала ( $\rho$ ,  $P_{TP}^0$ ). Управляемыми параметрами являются параметры режима шлифования ( $V_d$ ,  $t$ ). С учетом этого технические ограничения (3) и (4), зависящие от управляемых параметров режима шлифования, примут вид:

$$R_a(V_d) \leq R_a^*, \quad (5)$$

$$X_M^{TP}(V_d, t) \leq X_M^*. \quad (6)$$

Разрешим выражение (5) относительно переменной  $V_d$ . Тогда зависимость

$$V_d \leq f(R_a^*) \quad (7)$$

представляет собой границу между областью значений  $V_d$ ,  $R_a$ , для которых условие  $R_a \leq R_a^*$  удовлетворяется, и областью значений этих переменных,

в которой условие  $R_a \leq R_a^*$  не соблюдается. На рис. 1 в системе координат  $R_a \text{ } 0V_d$  показана прямая, причем область, в которой нарушается условие  $R_a \leq R_a^*$ , отштрихована.

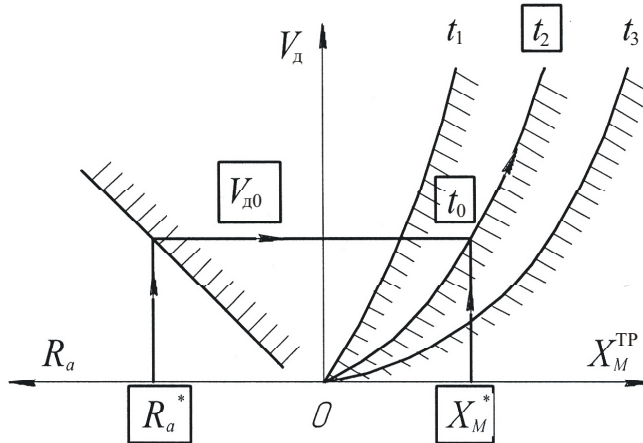


Рис. 1. Принцип построения карты качества поверхности деталей

Подставим в выражение (6) значение  $V_d$  из формулы (7). Полученное при этом неравенство

$$X_M^{\text{TP}}(t, R_a^*) \leq X_M^* \quad (8)$$

описывает семейство кривых, при дискретных значениях  $t$  являющихся границей между областью значений  $V_d, t$ , для которых условие  $X_M^{\text{TP}} \leq X_M^*$  соблюдается, и областью значений этих переменных, где условие  $X_M^{\text{TP}} \leq X_M^*$  не удовлетворяется. При этом условие  $R_a < R_a^*$  сохраняет свою силу во всем диапазоне значений  $V_d, t$ , соответствующих кривым (8). На рис. 1 в правом квадранте построено семейство кривых (8), где области значений  $V_d, t$ , при которых техническое ограничение (6) нарушается, отштрихованы. Семейство прямой и кривых, построенных по уравнениям (7) и (8), является картой качества поверхностного слоя детали, так как ею описываются условия, обеспечивающие выполнение технических ограничений  $R_a \leq R_a^*$  и  $X_M^{\text{TP}} \leq X_M^*$ , что гарантирует заданное технологом качество детали.

С использованием приемов практической номографии [4] построена и приведена на рис. 2 карта качества поверхности при планетарном шлифовании стали P18 (HRC 62–64) кругами 24A25HCM27K5. Техническими ограничениями являлись значения шероховатости поверхности  $R_a$  и глубина дефектного слоя  $X_M^{\text{TP}}$ . Пользование картами качества для определения описан-

ных параметров режима шлифования показано на рис. 1 и 2 стрелками (ниже цифры в скобках относятся к рис. 2).

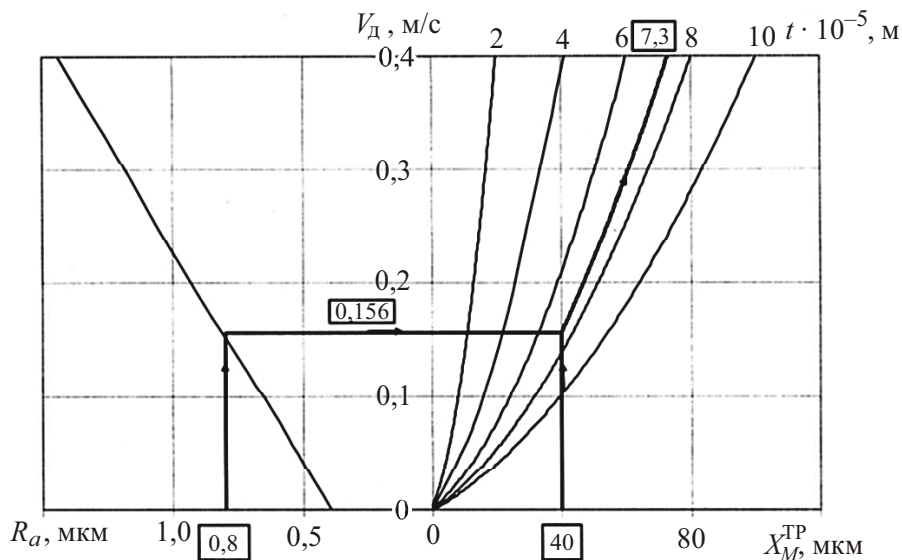


Рис. 2. Карта качества поверхности детали при плоском планетарном шлифовании. Шлифовальные круги – 24A25НСМ27К5. Обрабатываемый материал – сталь Р18

Задавшись ограничениями  $R_a^*$  ( $R_a^* = 0,8 \text{ мкм}$ ) и  $X_M^*$  ( $X_M^* = 40 \text{ мкм}$ ), на оси ординат получаем значение  $V_{d0}$  ( $V_{d0} = 0,156 \text{ м/с}$ ), а на оси абсцисс  $t_0$  ( $t_0 = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ).

### Список литературы

1. Свирщев В.И., Вольнов Д.Н. Прогнозирование формирования шероховатости поверхности при плоском торцовом планетарном шлифовании // Вестник ПГТУ «Механика и технология материалов и конструкций». – Пермь, 2006. – С. 103–110.
2. Подборнов И.В. Свирщев В.И. Прогнозирование глубины структурных превращений материала поверхностного слоя от технологических условий плоского торцового планетарного шлифования // 15-я междунар. науч.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии»: сб. материалов. – Харьков, 2009. – С. 87–89.
3. Резников А.И. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
4. Блох Л.С. Практическая номография. – М.: Высшая школа, 1971. – 328 с.

Получено 7.05.2010