

УДК 621.923.10

## РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТОРЦОВ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ МЕТОДОМ ОСЕВОЙ ПОДАЧИ КРУГОМ ПРЯМОГО ПРОФИЛЯ

А.Г. Белов

е-mail: anbelov@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья поступила 20 марта 2004 г.

В современном машиностроении с каждым годом увеличивается процент деталей, имеющих высокие требования к качеству поверхности. Многие дефекты поверхности напрямую связаны с температурным режимом обработки. Поэтому актуальной задачей становится изучение температурного поля детали. Для определения параметров температурного поля детали при шлифовании одним из ключевых факторов является определение количества тепловых импульсов, действующих на некоторую точку детали за время ее пребывания в зоне резания. Эмпирически число импульсов  $i$  для некоторых характеристик кругов и ограниченного числа режимов резания определен в [1]. В этих работах рельеф поверхности измерялся методами профилографирования, царапанием полированной пластины и так далее. Однако, при большом разнообразии характеристик кругов, фактически невозможно создать базу данных, позволяющую определить рельеф поверхности круга для любого частного случая. Поэтому необходимо разработать математическую модель расчета числа тепловых импульсов, способную давать значения  $i$  для любого круга заданной твердости, структуры в зависимости от режимов резания, настроечных параметров операции и величины площадки затупления.

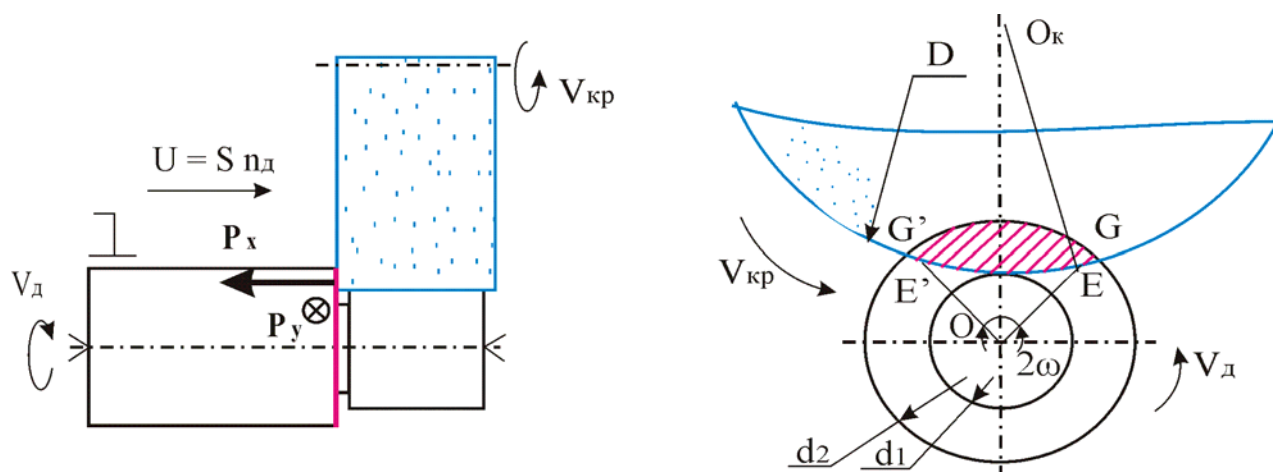


Рис. 1. Схема шлифования торца вала кругом прямого профиля с осевой подачей

Расчет количества тепловых импульсов позволит определить температуру поверхности детали по известным зависимостям [1]. При известной температуре детали и наличии математической модели появляется возможность управлять процессом резания таким образом, чтобы

минимизировать тепловые дефекты поверхности детали, возникающие при шлифовании — прижог, появление трещин. Наиболее часто такие дефекты возникают при шлифовании торцов кругами прямого профиля. Это связано в первую очередь с большой площадью контакта детали и круга. Между тем, схема обработки торцов ступенчатых валов кругами прямого профиля не рассматривается вышеперечисленными исследователями. Итак, в данной работе приводится разработка математической модели расчета количества тепловых импульсов для схемы обработки торца детали кругом прямого профиля методом осевой подачи. Рассмотрим схему шлифования (рис. 1). Точка  $E$  детали движется по дуге  $EE'$  со скоростью  $V_d$ , испытывая воздействие абразивных режущих зерен круга. Особенностью данной схемы является наличие двух зон резания [2]. Зона резания 1 образуется за счет поступательного движения детали со скоростью  $U$  вдоль оси за время поворота соответствующего сечения на угол  $2\rho - 2\psi$ . Зона резания 2 образуется за счет «доворота» детали до полного круга с одновременным осевым перемещением. Рассмотрим число тепловых импульсов как сумму импульсов, получаемых в обеих зонах.

Представим себе развертку круга, на которой остается след от встреч точки  $E$  детали с зернами и связкой круга (рис. 2). Число встреч точки  $E$  детали равно количеству абразивных зерен  $z$ , действующих в пределах пути шлифования  $GG'$  на глубине  $a_c$  относительно опорной поверхности круга, соответствующей средней глубине резания отдельными абразивными зернами. Определим толщину  $a_{CZ}$  резания совокупностью  $z$  абразивных зерен круга и глубину  $a_c$ , приходящуюся на одно зерно. Величина  $a_{CZ}$  соответствует осевому перемещению со скоростью  $U$  детали за время поворота детали на угол  $2\psi$

$$a_{CZ} = S \frac{\omega}{\pi}; \quad a_c = \frac{a_{CZ}}{z}; \quad z = \frac{L_{GG'}}{L_3}; \quad a_c = \frac{UL_3}{MV_{кр}}, \quad (1)$$

где  $n_d$  — частота вращения детали;  $L_3$  — расстояние между зернами круга;  $L_{GG'}$  — путь шлифования точки  $E$  детали;  $M$  — коэффициент, учитывающий изменение длины дуги контакта за счет винтообразного движения зерен круга относительно детали.

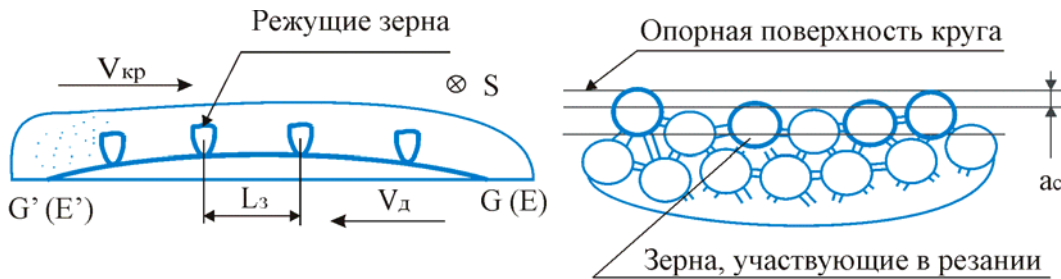


Рис. 2. Развертка круга, глубина резания  $a_c$  относительно опорной поверхности круга

Отметим тот факт, что средняя глубина среза фактически не зависит от положения точки  $E$  на торце детали. Очевидно, число тепловых импульсов, воздействующих на некоторую точку детали  $E$ , равно числу зерен  $z$ , которые последовательно срезают с торца детали в точке  $E$  металл толщиной  $a_c$  за время ее пребывания в зоне резания. Таким образом, используя выражения (1), получим общее число импульсов для двух зон:

$$i = \frac{MV_{кр}\omega}{\pi n_d L_3}. \quad (2)$$

Далее необходимо в выражении (2) перейти к параметрам, известным для заданной характеристики круга и известных настроечных параметров операции. Для острого круга известна [3] величина среднего расстояния между зернами круга:

$$L_3 = \frac{2 \cdot d_3^3}{3\sqrt{3}W_3 a_c \tan(\gamma)}, \quad (3)$$

где  $d_3$  — средний диаметр зерна, известный для каждой зернистости;  $W_3$  — доля в объеме круга, занимаемом зернами;  $\gamma$  — угол при вершине зерна ( $2\gamma = 2\pi/3$ ).

Величину  $i_O$  определим из треугольника ДОО<sub>к</sub>Е (см. рис. 1). Подставим выражения (3) и (1) в (2) и решим относительно количества тепловых импульсов  $i$ . Для острого круга получим:

$$i_O = \frac{1}{\pi d_3} \sqrt[3]{\frac{3\sqrt{3}W_3 \tan(\gamma) MV_{кр} S^2}{2n_D}} \cdot \arccos \left[ \frac{(D+d_1)^2 + d^2 - D^2}{2d(d_1+D)} \right], \quad (4)$$

где  $d$  — диаметр, на котором находится точка Е детали;  $D$  — диаметр круга;  $d_1$  — наименьший диаметр на торце.

Одним из наиболее распространенных способов управления процессом резания является управлением величиной подачи на оборот  $S$ . Исходя из выражения (4) этот параметр имеет наибольшее влияние на число тепловых импульсов в случае резания острым кругом.

Исходя из схемы обработки, становится ясно, что чем дальше точка находится от оси, тем дальше она находится в зоне резания 2 и, соответственно, тем больше тепловых импульсов она принимает. То есть, наибольших температур достигает поверхность торца детали, расположенная в непосредственной близости от цилиндрической поверхности. Анализируя выражение (4) также можно заключить, что число тепловых импульсов существенно зависит от характеристики круга через величину  $L_3$  — расстояние между вершинами зерен на некоторой глубине, однозначно соответствующей подаче на оборот  $S$ .

Более интересным случаем является шлифование затупленным кругом, так как наиболее актуален вопрос управления процессом резания в установившемся режиме. Формула расчета  $L_3$  для затупленного круга [3] выглядит следующим образом:

$$L_3 = \frac{8d_3^3 \tan(\gamma)}{3\sqrt{3}W_3 (2a_c \tan(\gamma) + b_c)^2}, \quad (5)$$

где  $b_c$  — средний диаметр площадки затупления.

В данном выражении присутствует промежуточный параметр  $a_c$ , зависящий от подачи и скорости круга. Подставим (1) в (5) и, затем разложим в ряд Тейлора относительно  $L_3$  и учтем первые два слагаемых (погрешность для площадки  $b_c = 0,03$  мм составляет 0,1 %, для  $b_c = 0,1$  мм — 0,0001 %, меньшие площадки при  $d_3 = 0,28$  мм можно не учитывать). Получим выражение для определения  $L_3$  для общего случая шлифования в зависимости от характеристики круга, величины площадки затупления и на некоторой глубине  $a_c$ , соответствующей заданным режимам резания:

$$K = \frac{8\sqrt{3}}{9} \frac{d_3^3 \tan(\gamma)}{W_3}; \quad L_3 = \frac{Kb_c}{4K \tan(\gamma) \frac{U}{MV_{кр}} + b_c^3}. \quad (6)$$

После подстановки (6) в (2) получим выражение для числа тепловых импульсов  $i_3$ , воздействующих на некоторую точку детали в случае работы затупленным кругом:

$$i_3 = \frac{32\sqrt{3}d_3^3 \tan(\gamma)^2 S n_D + 9W_3 MV_{кр} b_c^3}{8\sqrt{3}\pi d_3^3 \tan(\gamma) b_c} \arccos \left[ \frac{(D+d_1)^2 + d^2 - D^2}{2d(d_1+D)} \right]. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет определять количество тепловых импульсов в зависимости от характеристики круга, режимов резания и геометрических параметров операции для точек детали, расположенных на некотором диаметре торца  $d$ . В выражении (7) присутствуют ряд параметров, которые можно задавать для конкретного вида обработки, оказывая тем самым влияние на число тепловых импульсов:  $n_D$ ,  $V_{кр}$ ,  $a_c$ ,  $b_c$ . Величина  $a_c$  зависит от величины подачи на

оборот, но поскольку в обычных условиях  $a_c \ll b_c$ , удельный вес величины подачи в выражении (7) невелик. В данном выражении скрыт параметр расстояния между вершинами режущих зерен  $L_3$ , который зависит, главным образом, от величины критической площадки затупления  $b_c$ , среднего диаметра зерен круга  $d_3$  (влияние характеристики круга) и глубины  $a_c$  относительно опорной поверхности круга, однозначно связанной с режимами резания. От расстояния  $L_3$  зависит число встреч точек детали с абразивными зёрнами и, в конечном итоге, число тепловых импульсов и температура детали на выходе из зоны резания. Самыми простыми и очевидными параметрами для управления процессом резания являются число оборотов детали в минуту  $n_d$  и скорость круга  $V_{кр}$  — если соотношение будет минимальным, будет наименьшим число встреч точек детали с абразивными зёрнами.

Ниже приводится расчет количества тепловых импульсов для точек торца детали  $d_1=30$  мм,  $d_2=50$  мм, расположенных на диаметре  $d=50$  мм при шлифовании кругом 25C17, диаметр круга  $D=600$  мм, при различных величинах частоты вращения детали  $n_d$ , скорости круга  $V_{кр}$  при средних площадках затупления  $b_c=0,03...0,09$  мм.

Таблица 1

Число тепловых импульсов  $i$  при  $V_{кр}=30$  м/с

Диаметр площадки затупления $b_c$ , мм	Частота вращения детали $n_d$ , об/мин									
	120	180	240	300	360	420	480	540	600	720
0,03	101	67	50	40	33	28	24	22	20	16
0,04	180	119	89	71	59	51	44	39	35	29
0,05	281	187	140	111	93	79	70	61	55	46
0,06	404	269	202	161	133	114	100	89	80	66
0,07	550	366	274	219	182	156	136	121	108	90
0,08	716	477	356	284	237	203	177	157	141	117
0,09	905	601	450	359	298	255	223	198	178	148

Таблица 2

Число тепловых импульсов  $i$  при  $V_{кр}=50$  м/с

Диаметр площадки затупления $b_c$ , мм	Частота вращения детали $n_d$ , об/мин									
	120	180	240	300	360	420	480	540	600	720
0,03	168	112	84	67	55	48	41	37	33	27
0,04	300	200	150	119	100	85	74	66	59	50
0,05	469	312	234	187	155	133	117	103	93	77
0,06	675	449	337	268	224	192	167	149	133	111
0,07	917	610	456	365	303	260	227	201	181	150
0,08	1000	795	595	475	396	338	296	262	236	197
0,09	2000	1000	749	599	498	426	372	331	297	247

Как показали расчеты (табл. 1 и 2), наиболее существенно для затупленного круга число тепловых импульсов зависит от числа оборотов детали  $n_d$ , скорости круга  $V_{кр}$ . Очевидно, эти два параметра могут эффективно использоваться для управления процессом обработки. Зависимость от величины площадки затупления  $b_c$  отражает влияние характеристики круга и марки стали — чем тверже круг, тем больших размеров достигают площадки затупления, тем, соответственно выше температура в зоне резания. С другой стороны чем тверже материал детали, тем меньшие возможны площадки затупления для заданной характеристики круга. Однако увеличивается интенсивность источников тепла, поэтому зависимость температуры от материала стали неоднозначна.

## Заключение

Разработана математическая модель взаимодействия круга и детали при шлифовании торца вала кругом прямого профиля методом осевой подачи, которая позволяет аналитически определять число тепловых импульсов передаваемых кругом точкам детали во время их пребывания в зоне резания для любых частных условий применительно к рассмотренной схеме обработки. Найденные зависимости устанавливают взаимосвязь числа тепловых импульсов с такими параметрами обработки как характеристика круга ( $d_3$ ,  $W_3$ ,  $b_c$ ), режимы резания ( $S$ ,  $V_{кр}$ ,  $n_d$ ), геометрия заготовки и круга ( $D$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ). Сделанные выводы доказывают, что на основании предложенной методики можно аналитически рассчитать режимы резания для заданных условий обработки и известной характеристики круга, при которой число тепловых импульсов будет таковым, что температура поверхности детали не будет достигать критической по прижогу величины.

## Список литературы

1. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение. 1974, 280 с.
2. Белов А. Г. Моделирование точности шлифования торцов валов // Прогрессивные технологии в машиностроении. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 2000, С. 44—47.
3. Исаков Д. В. Проектирование производительных шлифовальных операций на основе расчетного определения эксплуатационных показателей шлифовальных кругов: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000.
4. Ивашинников В. Т. Прогрессивное шлифование. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во. 1976, 327 с.