

УДК 621.923.001.42

ВОЗМОЖНОСТЬ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ НАРУЖНОМ БЕСЦЕНТРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С НЕИЗМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

С.А. Добрынин, В.Н. Суслов, Г.И. Фирсов

В работе получены приближенные аппроксимационные зависимости для глубины проникновения тепла от величины снимаемого припуска для режимов черного и чистового бесцентрового шлифования наружных поверхностей колец подшипников, с помощью которых удастся оценить количество проходов и выбрать число станков в автоматической линии.

Автоматизация производства, диагностики и управления производственными процессами в машиностроении требует формализации описания технологических переходов с точки зрения достижения требуемых параметров качества как точностных, так и обуславливающих свойства поверхностных слоев детали [1, 2]. При наружном бесцентровом шлифовании колец подшипников обеспечение качества поверхностного слоя в первую очередь зависит от температурных воздействий со стороны режущего круга. Время непрерывного воздействия плоского источника тепла на каждую точку наружной цилиндрической поверхности кольца может быть определено из формулы [3]:

$$\tau_0 = \frac{l}{V_k} = \sqrt{\frac{Ddt}{D+d}} \frac{1}{V_k}. \quad (1)$$

Величина интенсивности теплового импульса может быть вычислена как отношение количества тепла, выделившегося на площадке контакта режущего круга с кольцом, к площади контакта и времени τ_0 :

$$q = \frac{0,8Q}{Hl\tau_0}. \quad (2)$$

Коэффициент 0,8 учитывает поглощение части тепла, выделившегося в зоне контакта, кругом и стружкой.

Так как основная часть механической работы при шлифовании превращается в тепло, то для процесса бесцентрового наружного круглого шлифования можно записать

$$Q = \frac{P_z V_{kp} \tau_0}{J}, \quad (3)$$

где P_z — тангенциальная составляющая усилия резания; V_{kp} — скорость вращения режущего круга; J — механический эквивалент теплоты; $J = 427$ кгм/ккал. Подставляя значение Q из (3) в (2), получим $q = \frac{0,8P_zV_{kp}}{JHl}$. С учетом выражений (1) и (2) после элементарных преобразований и замечая, что $\delta^2 \gg \alpha\tau_0$, формулу для T_{max} можно записать так:

$$T_{max} = 0,904 \frac{P_z V_{kp} \sqrt{\alpha}}{H \sqrt{l} \lambda J \sqrt{V_k}} \quad (4)$$

Опытным путем определить усилие резания, отнесенное к одному кольцу при нахождении в зоне резания нескольких колец, практически невозможно. Поэтому воспользуемся известными частными данными, полученными в результате ранее проведенных исследований. Известно [4], что усилие резания на одном зерне режущего круга можно выразить как $P_z = P_z t \frac{b}{2}$, где P_z — удельное напряжение резания при шлифовании; t — толщина снимаемого слоя; b — ширина активной части режущего лезвия зерна. Величина b может быть найдена из выражения [3] $b = 2\sqrt{2\rho t - t^2}$. Здесь ρ — радиус закругления зерна, значения которого для различной зернистости и марок круга приведены в соответствующей литературе [3].

Количество тепла, выделившегося на площадке контакта кольца с кругом, очевидно, будет равно сумме тепловых импульсов от всех зерен, находящихся в зоне контакта. Зная зернистость и номер структуры режущего круга, можно определить число зерен, действующих за время τ_0 на площадке контакта. Число зерен в пределах площадки контакта будет равно $Z = \frac{H}{K^2} \sqrt{\frac{Ddt}{D+d}}$, где H — высота кольца; K — среднее расстояние между зернами. Общее усилие, действующее в пределах площади контакта, будет равно;

$$P_z = P_z Z = P_z Z \frac{b}{2} t = P_z t \sqrt{2\rho t - t^2} \frac{H}{K^2} \sqrt{\frac{Ddt}{D+d}} \quad (5)$$

Подставляя в (4) выражение (5) и произведя некоторые преобразования, получим;

$$T_{max} = 6,69 \frac{P_z t V_{kp} \sqrt{\alpha} \sqrt{2\rho t - t^2} \sqrt[4]{Dd} \sqrt{t}}{K^2 \sqrt[4]{D+d} \lambda \sqrt{V_k}} \quad (6)$$

Формула (6) позволяет рассчитывать максимальную температуру на поверхности кольца, возникающую в месте контакта режущего круга с изделием. Формула выведена для процесса шлифования, осуществляемого без охлаждающей жидкости. Известные по литературным данным исследования [5] показывают, что охлаждающая жидкость примерно в 1,5 раза снижает температуру T_{max} . Поскольку кольца шлифуются с

охлаждением, в формулу (6) необходимо ввести дополнительный коэффициент $1 / 1,5 = 0,667$. При распределении общей величины припуска на шлифование между проходами (или между станками, объединенными в линию) необходимо исходить из следующих условий.

1. В процессе последнего прохода необходимо удалить поверхностный слой металла с измененной структурой, образовавшийся в результате предпоследнего прохода.

2. Для последнего прохода должны быть выбраны такие режимы обработки, которые исключили бы возможность образования нового слоя с измененной структурой. Очевидно, что эти условия взаимосвязаны. Действительно, величина поверхностного слоя с измененной структурой, образовавшегося в процессе предпоследнего прохода, должна быть не больше допустимой глубины резания, рассчитанной для последнего прохода.

Для образования вторично закаленного слоя определенной глубины необходимо, чтобы температура на данной глубине была выше или равна закалочной и скорость охлаждения $\partial T / \partial \tau$ на этой глубине во время прохождения слоев температуры наименьшей устойчивости аустенита ($T = 550^\circ$) должна быть не ниже критической.

При шлифовании закаленных сталей скорости охлаждения достигают значений $800-1000^\circ/\text{с}$, а толщина слоя, в котором концентрируется тепло, составляет несколько микрометров [6]. Следовательно, глубина вторично закаленного слоя, образующегося при шлифовании, может быть определена, если известна глубина проникновения критической температуры за время контакта кольца с режущим кругом. Поверхностные слои металла, нагретые ниже закалочных температур, подвергаются кратковременному высокотемпературному отпуску с последующим быстрым охлаждением.

Увеличение температуры изделия, подвергающегося отпуску, равносильно увеличению выдержки изделия при заданной температуре отпуска. Отсюда следует, что эффективность кратковременного отпуска может быть без выдержки достигнута только при высоких температурах отпуска $T_{\text{отп}} \geq 550^\circ$. Так как температура нагрева не превышает критической точки A_{c1} , то скорость охлаждения при отпуске не имеет большого значения. Из сказанного следует, что допустимой в процессе последнего прохода является глубина шлифования, которая при заданных прочих параметрах режима обработки, не вызвала бы на поверхности обрабатываемого кольца температуру выше 550° .

Глубина проникновения тепловой волны [7] определяется уравнением:

$$\frac{1}{v} = e^{-\delta \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \tau}}}, \quad (7)$$

где δ_1 — глубина, на которую проникает теплота за время τ ; v — доля, которую составляет амплитуда колебаний на глубине δ_1 от ее величины на поверхности; τ — время распространения тепла; α — коэффициент теплопроводности. Примем минимальную температуру отпуска, при которой будет происходить превращение мартенсита в троостосорбит, равной 550° , и подсчитаем величину слоя с измененной структурой при

различных глубинах шлифования. Выражение (7) запишем в виде $\delta_1 = \sqrt{\frac{\alpha \tau}{\pi}} \ln v$. Для

рассматриваемого случая окончательно получим:

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{Dd}{D+d}} \sqrt[4]{t} \frac{1}{\sqrt{V_k}} \left[\ln T_{\max.nob} - T_{(550^\circ)} \right]. \quad (8)$$

В правой части выражения (8) величина $T_{\max.nob}$ является функцией глубины шлифования t . Значения $T_{\max.nob}$, вычисленные для различных глубин шлифования по формуле (6), приведены ниже.

а) чистовое шлифование. Марка круга СТ. $P_z = 3800$ кг/мм². $\rho = 0,005$ мм. $D_{kp} = 600$ мм. $d_k = 90$ мм. $V_{kp} = 34,2$ м/с. $K = 0,25$ мм. $V_k = 0,62$ м/с. $\alpha = 0,095$ см²/с. $\lambda = 0,0877$ кал/смс². Число оборотов, которое совершает кольцо за время нахождения в зоне резания в процессе одного прохода, равно 15. Значениям t_{np} (мкм) соответствуют следующие величины $T_{\max.nob}$ (°С): 15 мкм — 70°С; 30 мкм — 200°С; 45 мкм — 375°С; 60 мкм — 600°С; 75 мкм — 820°С; 90 мкм — 1000°С; 105 — 1150°С; 120 мкм — 1180°С.

б) черновое шлифование. Марка круга МЗ. $P_z = 3800$ кг/мм². $\rho = 0,010$ мм. $D_{kp} = 600$ мм. $d_k = 90$ мм. $V_{kp} = 34,2$ м/с. $K = 0,475$ мм. $V_k = 0,62$ м/с. $\alpha = 0,095$ см²/с. $\lambda = 0,0877$ кал/смс². Число оборотов, которое совершает кольцо за время нахождения в зоне резания в процессе одного прохода, равно 20. Значениям t_{np} (мкм) соответствуют следующие величины $T_{\max.nob}$ (°С): 20 мкм — 25°С; 40 мкм — 80°С; 60 мкм — 165°С; 80 мкм — 270°С; 100 мкм — 390°С; 120 мкм — 520°С; 140 мкм — 660°С; 160 мкм — 880°С; 180 мкм - 950°С; 200 — 1080°С; 220 мкм — 1200°С; 240 мкм — 1310°С; 260 мкм — 1420°С.

Подставляя в выражение (8) значения $T_{\max.nob}$ при выбранной глубине шлифования, получим величины δ_1 для различных t . В результате линейной аппроксимации, выполненной с помощью математического пакета MATLAB, для принятых выше параметров процесса шлифования были установлены следующие зависимости глубины слоя с измененной структурой поверхностного слоя от величины припуска, снимаемого за один проход: для чистового шлифования $\delta_1 = 0,8 t - 40$ (мкм) при $50 \leq t \leq 100$, для чернового шлифования $\delta_1 = 0,58 t - 70$ (мкм) при $120 \leq t \leq 200$. Таким образом, при принятых значениях величин, входящих в (6), допустимая глубина резания в процессе последнего прохода не должна превышать 50 мкм. На практике величина снимаемого припуска на последнем проходе не превышает 10-20 мкм.

Следовательно, на предпоследнем проходе глубина резания не должна превышать 60 мкм. Рассуждая аналогично, находим допустимую величину снимаемого припуска для каждого прохода. Так, если кольца обрабатываются в m проходов, то для $(m - 2)$ -го прохода величина снимаемого припуска не должна превышать 125 мкм.

Полученные результаты, хотя и являются приближенными, позволяют заключить, что температурный фактор не является регламентирующим при выборе числа однотипных станков, объединяемых в автоматическую линию, или при выборе числа проходов шлифования наружных цилиндрических поверхностей колец подшипников.

Литература

1. Основы автоматизации и управления технологическими процессами в машиностроении / Под ред. В.Ц. Зориктуева, Н.С. Буткина. — Уфа: Уфимский гос. авиац. техн. ун-т, 2000. — 406 с.
2. Добрынин С.А., Суслов В.Н., Фирсов Г.И. Проблемы автоматизированного исследования динамики и диагностики металлорежущих станков // Материалы и технологии XXI века. — Пенза: Приволжский Дом знаний, 2005. — С.188-190.
3. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. — М.: Высшая школа, 1985. — 304 с.
5. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. — М.: Машиностроение, 1978. — 167 с.
6. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. — Киев: Техника, 1970. — 394 с.
7. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), Москва, Россия

Поступила: 04.08.08.