

ДИТИНЕНКО С.А., НОВИКОВ Г.В., МАШКО А.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ВОЗНИКАЮЩИХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ТОЧНОСТЬЮ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований связи упругих перемещений в технологической системе с точностью и производительностью обработки

Задачи повышения точности и производительности обработки при шлифовании имеют большое практическое значение. Им посвящены многочисленные работы [1, 2]. Важным направлением решения является снижение отрицательной роли упругих перемещений, возникающих в технологической системе, в формировании параметров точности обработки [3]. Поэтому целью работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований по установлению связи упругих перемещений, возникающих в технологической системе, с точностью и производительностью обработки.

Для решения поставленных задач воспользуемся теоретическим подходом [4, 5] к определению величины упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, применительно к процессу круглого наружного врезного шлифования:

$$y = y_{уст} \cdot (1 - e^{-\bar{\beta} \cdot \tau}), \quad (1)$$

$$\text{где } y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}; \quad \bar{\beta} = \frac{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \sigma}; \quad Q_0 = \pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot V_{рад} - \text{номи-}$$

нальная производительность обработки, м³/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $D_{дет}, l_{дет}$ – соответственно диаметр и длина обрабатываемой детали, м; $V_{рад}$ – скорость радиальной подачи, м/с; τ – время обработки, с.

Параметр $y_{уст}$ после преобразования принимает вид:

$$y_{уст} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \sigma \cdot V_{рад}}{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}. \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что $y_{уст} = V_{рад} / \bar{\beta} = V_{рад} \cdot B$, где $B = 1 / \bar{\beta}$. С физической точки зрения параметр B определяет время, за которое шлифовальный круг переместится в радиальном направлении на величину $y_{уст}$, т.е. параметр B –

это постоянная времени формирования упругого перемещения в технологической системе. Тогда

$$y_{уст} = B \cdot V_{рад}, \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{\beta} = \frac{\pi \cdot D_{дем} \cdot l_{дем} \cdot \sigma}{V_{кр} \cdot K_{иу} \cdot c}. \quad (4)$$

Постоянная времени B обратно пропорциональна параметру $\bar{\beta}$. Она тем меньше, чем меньше площадь обработки $F = \pi \cdot D_{дем} \cdot l_{дем}$, отношение $\sigma / K_{иу}$ (определяющее силовую напряженность процесса обработки) и чем больше скорость круга $V_{кр}$ и приведенная жесткость технологической системы c . Постоянную времени B можно рассматривать одной из основных характеристик технологической системы, поскольку она определяет длительность переходного процесса обработки, связанного с формированием в технологической системе упругого перемещения величиной $y_{уст}$.

Зависимость (1) с учетом зависимости (4) опишется:

$$y = y_{уст} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right). \quad (5)$$

Обозначая $n = \tau / B$, имеем

$$\frac{y}{y_{уст}} = 1 - e^{-n}. \quad (6)$$

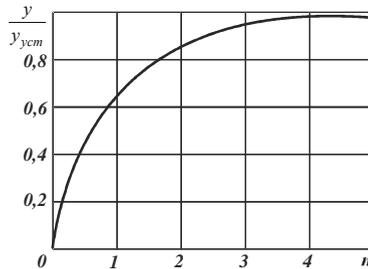


Рис. 1. Зависимость отношения $y / y_{уст}$ от величины n .

Характер изменения рассчитанных по зависимости (6) значений $y / y_{уст}$ показан на рис. 1. Как видно, с увеличением n отношение $y / y_{уст}$ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. При $n=3$ отличие значений y и $y_{уст}$ составляет 5%. Поэтому при $n \geq 3$ с достаточной для практики точностью расчеты величины y можно вести по упрощенной зависимости:

$$y \approx y_{уст}. \quad (7)$$

Для практического использования зависимостей (5) и (6) необходимо знать значения параметра B и соответственно величины $y_{уст}$, связанной с параметром B зависимостью (3). Определить B можно на основе зависимости (4), однако это требует проведения сложных экспериментальных исследований по установлению значений условного напряжения резания σ , коэффициента шлифования $K_{ш}$ и жесткости технологической системы c . Более просто установить параметр B можно расчетно-экспериментальным путем, используя зависимость (5), и экспериментальные данные величин y и τ . Для этого необходимо зависимость (5) представить в виде:

$$y = B \cdot V_{рад} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right), \quad (8)$$

где $V_{рад} = \Pi / \tau$; Π – номинальная величина снимаемого припуска, м.

После преобразований зависимость (8) окончательно запишется:

$$y = \Pi \cdot \frac{B}{\tau} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right) = \frac{\Pi}{n} \cdot \left(1 - e^{-n} \right). \quad (9)$$

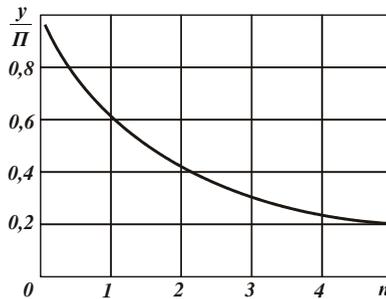


Рис. 2. Зависимость отношения y/Π от величины n .

На рис. 2 приведены рассчитанные по зависимости (9) значения y/Π . Как видно, с увеличением величины n (т.е. с увеличением времени обработки τ и соответственно уменьшением $V_{рад}$ при условии $\Pi = const$) величина упругого перемещения y уменьшается. Методика определения входящей в зависимость (9) неизвестной величины n состоит в следующем. Экспериментально устанавливаются значения y , τ и Π . По известному отношению y/Π , используя рис. 1, определяется искомое значение n . Затем, по зависимости $B = \tau/n$ определяется значение B . Зная скорость радиальной подачи $V_{рад} = \Pi/\tau$, определяется величина $y_{уст} = B \cdot V_{рад}$.

Для проведения экспериментов была изготовлена специальная цилиндрическая оправка из стали 45, на которой механическим путем крепились 4 пластины из твердого сплава ВК8. Оправка устанавливалась в центрах круг-

лошлифовального станка и при шлифовании совершала вращательное движение, а шлифовальный круг – врезную (радиальную) подачу. В результате обеспечивалось круглое наружное врезное шлифование твердосплавных пластин. Скорость круга устанавливалась равной $V_{кр} = 30$ м/с, а скорость вращения детали – $V_{дет} = 30$ м/мин. В качестве шлифовального круга использовался алмазный круг на металлической связке 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1-01 4. После установки алмазного круга на станок производилась его электроэрозионная правка. Это позволило устранить биение круга, обеспечить высокую развитость его режущего рельефа и соответственно высокую режущую способность.

При проведении экспериментов принималась постоянная номинальная величина снимаемого припуска $\Pi = 0,5$ мм независимо от скорости радиальной подачи $V_{пад}$. В ходе экспериментов измерялось время обработки τ и определялась величина упругого перемещения y по формуле:

$$y = \Pi - \frac{D_{дет_1} - D_{дет_2}}{2}, \quad (10)$$

где $D_{дет_1}, D_{дет_2}$ – соответственно диаметры детали до и после обработки, м.

В табл. 1 приведены экспериментальные значения параметров τ , y и y/Π , полученные при шлифовании с разными скоростями радиальной подачи $V_{пад}$. На основе этих данных по соответствующим зависимостям, приведенным выше, определены значения параметров n , B и $y_{уст}$ (табл. 2), что позволило количественно оценить роль упругих перемещений в процессе съема припуска при шлифовании. Как видно, значения $y_{уст}$ несколько больше значений y . Это хорошо согласуется с теоретическими результатами и свидетельствует о том, что при $n \rightarrow 3$ значения $y_{уст}$ и y отличаются несущественно.

Таблица 1 – Экспериментальные значения параметров τ , $V_{пад}$, y и y/Π

№ п/п	τ , с	$V_{пад}$, мм/с	y , мм	y/Π
1	50	0,01	0,17	0,34
2	45	0,011	0,2	0,4

Таблица 2 – Расчетные значения параметров n , B и $y_{уст}$

№ п/п	n	B , с	$y_{уст}$, мм
1	2,9	17,24	0,172
2	2,25	20,0	0,22

Определим условия повышения производительности обработки с учетом ограничения по точности размера обработанной детали. Согласно полученному теоретическому решению [4], повысить производительность обработки

можно за счет создания в технологической системе начального натяга y_0 , равного или превышающего значение $y_{уст}$. Этим исключается переходной процесс, в течении которого фактическая производительность обработки Q и величина упругого перемещения y меньше номинальных значений Q_0 и $y_{уст}$. Выше предложена, по сути, экспресс-методика расчетно-экспериментального определения величины $y_{уст}$, что позволяет в каждом конкретном случае правильно устанавливать величину $y_{уст}$, повышая тем самым производительность обработки.

Необходимо отметить, что условие $y_0 = y_{уст}$ является необходимым, но недостаточным условием повышения производительности при финишной обработке. Достаточным может быть условие обеспечения максимально возможной производительности с учетом ограничения по точности обработки. В работе [4] теоретически обоснована оптимальная по структуре операция шлифования, обеспечивающая максимально возможную производительность для заданной точности обработки, включающую лишь переход выхаживания. Однако для ее выполнения необходимо использовать инструменты с высокой режущей способностью, например, алмазные круги на металлической связке после их эффективной электроэрозионной правки (с развитым режущим рельефом). Применение алмазных кругов с относительно низкой режущей способностью требует осуществления операции шлифования в два перехода: черновое шлифование и последующее выхаживание.

Существенным ограничением осуществления установленной оптимальной по структуре операции шлифования являются также увеличенные припуски на обработку. В этом случае операцию шлифования также приходится выполнять в два перехода: черновое шлифование и выхаживание. Иными словами, оптимальная по структуре операция шлифования может быть осуществлена при сьеме относительно небольших припусков.

Список литературы: 1. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1984. – 103 с. 2. Кашук В.А., Верещагин А.Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с. 3. Новиков Ф.В., Ковальчук А.Н. Оптимизация структуры процесса съема припуска при механической обработке // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2005. – № 37. – С. 169-176. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

Поступила в редколлегию 21.04.08