

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ БАЛАНСА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Новиков Г.В., Кленов О.С.
(НТК “Эльбор”, г. Харьков, Украина)

Введение

При определении условий повышения точности и производительности механической обработки важно располагать теоретическими решениями, учитывающими баланс перемещений в технологической системе в связи с упругими деформациями элементов технологической системы. Эти решения чрезвычайно важны для процессов финишной абразивной обработки, в частности процессов шлифования, заточки инструментов и т.д. Необходимо отметить, что в данном направлении проведено достаточно большое количество исследований [1–4], однако проблема в полном объеме не решена. Отсутствуют аналитические решения об изменении величины упругого перемещения y в технологической системе с течением времени обработки τ , причем в упрощенном варианте, применимом для инженерных расчетов. В связи с этим целью настоящей работы является определение упругих перемещений и производительности при механической обработке на основе баланса перемещений в технологической системе.

Основная часть

Произведем расчет величины упругого перемещения y в технологической системе применительно к процессу шлифования по жесткой схеме. Рассмотрим упрощенную схему шлифования, применяемую, например, при заточке инструментов, когда обрабатываемый прямолинейный образец движется с фиксированной скоростью V_0 (равной скорости непрерывной поперечной подачи) по нормали к шлифовальному кругу. Вследствие возникновения упругого перемещения y в технологической системе, скорость движения образца уменьшится до величины V_ϕ . Уравнение баланса перемещений в технологической системе без учета износа шлифовального круга в упрощенном виде опишется: $V_0 \cdot \tau = V_\phi \cdot \tau + y$. Представим $V_\phi = Q_\phi / F$ (где Q_ϕ – фактическая производительность обработки, м³/с; F – площадь поперечного сечения обрабатываемого образца, м²), а упругое перемещение y выразим зависимостью [3]:

$$\delta = \frac{D_\delta}{\tilde{n}} = \frac{P_z}{c \cdot \hat{E} \delta \dot{a}_\zeta} = \frac{\sigma \cdot S}{c \cdot \hat{E} \delta \dot{a}_\zeta} = \frac{\sigma \cdot Q_\delta}{\tilde{n} \cdot \hat{E} \delta \dot{a}_\zeta \cdot V_{\dot{\delta}}}, \quad (1)$$

где P_z, P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания (коэффициент шлифования); σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S = Q_\phi / V_{кр}$ – суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; $V_{кр}$ – скорость шлифовального круга, м/с.

С учетом зависимости $V_0 = Q_0 / F$ (где Q_0 – номинальная производительность обработки, м³/с), получим

$$Q_{\delta} = \frac{Q_0}{\left(1 + \frac{\sigma \cdot F}{c \cdot K_{\delta a \zeta} \cdot V_{\delta \delta} \cdot \tau}\right)}; \quad y = \frac{Q_0}{\left(\frac{c \cdot \hat{E}_{\delta a \zeta} \cdot V_{\delta \delta}}{\sigma} + \frac{F}{\tau}\right)}. \quad (2)$$

Как видно, при шлифовании по жесткой схеме фактическая производительность обработки Q_{ϕ} , во-первых, меньше номинальной производительности обработки Q_0 , во-вторых, увеличивается с течением времени обработки τ , асимптотически приближаясь к значению Q_0 (рис. 1).

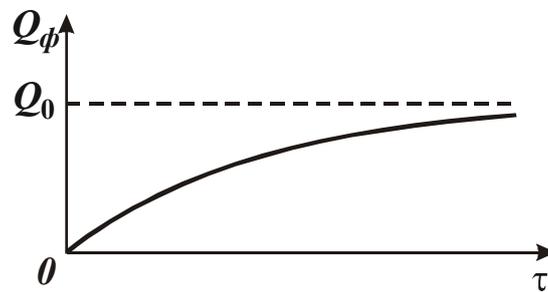


Рис. 1. Зависимость Q_{ϕ} от τ

Величина y изменяется по закону изменения фактической производительности обработки Q_{ϕ} (см. рис. 1), с течением времени асимптотически приближаясь к своему номинальному значению:

$$y''' = \frac{\sigma \cdot Q_0}{c \cdot \hat{E}_{\delta a \zeta} \cdot V_{\delta \delta}}. \quad (3)$$

Тогда

$$y = \frac{y'''}{1 + \frac{\sigma \cdot F}{c \cdot \hat{E}_{\delta a \zeta} \cdot V_{\delta \delta} \cdot \tau}}. \quad (4)$$

Уменьшить величину $y_{ном}$ можно увеличением отношения $K_{рез} / \sigma$, приведенной жесткости технологической системы c и уменьшением суммарной площади поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга $S = Q_0 / V$.

Приведенные расчетные зависимости справедливы при непрерывной поперечной подаче. Решение остается прежним и при дискретной поперечной подаче, рассматривая время обработки τ в виде: $\tau = n \cdot \tau_0$, где n – число дискретных подач (количество проходов круга); τ_0 – длительность одной дискретной подачи (прохода), с.

Как известно, для того чтобы уменьшить величину упругого перемещения y и повысить фактическую производительность обработки Q_{ϕ} , необходимо в технологической системе создать натяг. Учесть начальный натяг y_0 можно, представив уравнение баланса перемещений в технологической системе в виде:

$$\acute{o}_0 + V_0 \cdot \tau = V_{\acute{o}} \cdot \tau + \acute{o}. \quad (5)$$

С использованием зависимости (1) определяется фактическая производительность обработки Q_{ϕ} :

$$Q_{\acute{o}} = Q_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{y_0}{Q_0} \cdot \frac{F}{\tau}\right)}{\left(1 + \frac{\sigma \cdot F}{c \cdot \hat{E}_{\acute{o}} \cdot V_{\acute{o}} \cdot \tau}\right)}. \quad (6)$$

Характер изменения фактической производительности обработки Q_{ϕ} с течением времени τ зависит от интенсивностей изменения числителя и знаменателя зависимости (6) во времени τ . Если преобладает интенсивность изменения знаменателя, то фактическая производительность обработки Q_{ϕ} с течением времени будет увеличиваться. Если же преобладает интенсивность изменения числителя, то наоборот, фактическая производительность обработки будет уменьшаться. При равенстве интенсивностей изменения числителя и знаменателя, фактическая производительность обработки Q_{ϕ} будет постоянна во времени. Последний случай возможен, если в зависимости (6) подчинить условию:

$$\acute{o}_0 = \frac{\sigma \cdot Q_0}{c \cdot \hat{E}_{\acute{o}} \cdot V_{\acute{o}}}. \quad (7)$$

Как видно, зависимости для определения y_0 и $y_{ном}$ одинаковы. Следовательно, для того чтобы фактическая производительность обработки Q_{ϕ} была равна номинальной производительности обработки Q_0 на протяжении всего времени τ , необходимо в технологической системе создать начальный натяг y_0 , равный номинальному значению величины упругого перемещения $y_{ном}$.

Очевидно, при условии $y_0 > y_{ном}$, исходя из зависимости (6), справедливо условие $Q_{\phi} > Q_0$. При $y_0 < y_{ном}$, наоборот, $Q_{\phi} < Q_0$ (рис. 2). При условии $y_0 > y_{ном}$ фактическая производительность обработки Q_{ϕ} уменьшается с течением времени обработки, асимптотически приближаясь к значению номинальной производительности обработки Q_0 . При условии $y_0 < y_{ном}$, наоборот, увеличивается, также асимптотически приближаясь к значению Q_0 . Причем, при условии $y_0 < y_{ном}$ в начальный момент обработки

$Q_{\phi} > 0$, тогда как в случае $y_0 = 0$ (см. рис. 1) справедливо $Q_{\phi} = 0$.

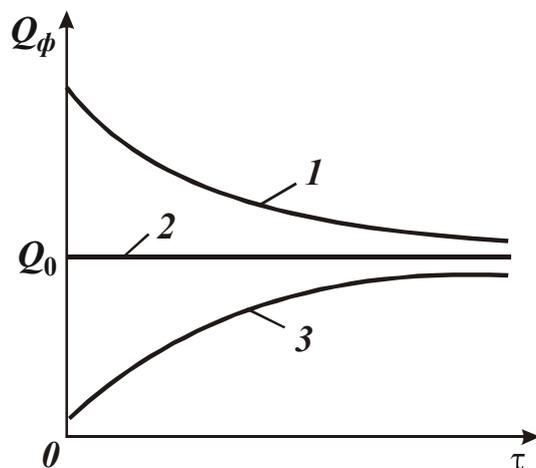


Рис. 2. Зависимость фактической производительности обработки Q_{ϕ} от времени обработки τ : 1 – при $y_0 > y_{ном}$; 2 – при $y_0 = y_{ном}$; 3 – при $y_0 < y_{ном}$

Определим величину упругого перемещения y , исходя из общего решения, представленного зависимостью (6):

$$y = y_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{Q_0 \cdot \tau}{y_0 \cdot F}\right)}{\left(1 + \frac{c \cdot \hat{E} \cdot \partial \hat{\alpha}_c \cdot V_{\hat{e} \partial} \cdot \tau}{\sigma \cdot F}\right)}. \quad (8)$$

Величина упругого перемещения y , согласно зависимости (1), изменяется по закону фактической производительности обработки Q_{ϕ} (рис. 3). Как следует из зависимости (8), основным путем уменьшения величины y является исключение второго слагаемого, входящего в числитель зависимости, т.к. с увеличением τ оно увеличивается. Реализовать это условие можно при $Q_0 = 0$, т.е. используя цикл обработки, включающий лишь этап выхаживания. Данное решение реализовано, в частности, при круглом наружном врезном и продольном шлифовании алмазными кругами на металлических связках твердосплавных инструментов [5]. В результате более чем в два раза увеличена производительность обработки при обеспечении точности размера обрабатываемых поверхностей в пределах 10 мкм и шероховатости обработки $Ra = 0,1-0,2$ мкм. Это позволило исключить из цикла обработки последующую трудоемкую операцию доводки свободным абразивом.

Вторым по эффективности следует рассматривать цикл обработки, включающий этап резания по жесткой схеме с предварительным натягом y_0 в технологической системе, определяемым по зависимости (7), и этап выхаживания (рис. 4).

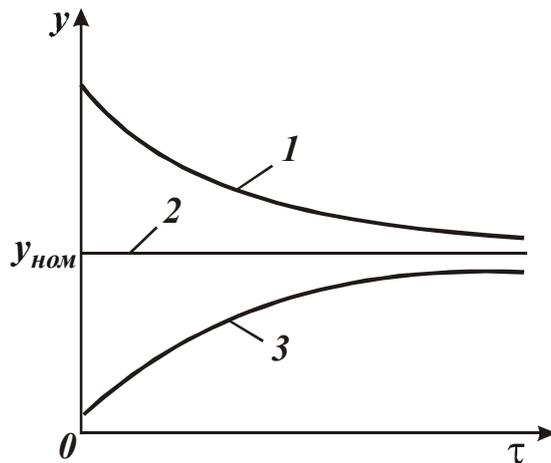


Рис. 3. Зависимость величины упругого перемещения y от времени обработки τ : 1 – при $y_0 > y_{ном}$; 2 – при $y_0 = y_{ном}$; 3 – при $y_0 < y_{ном}$

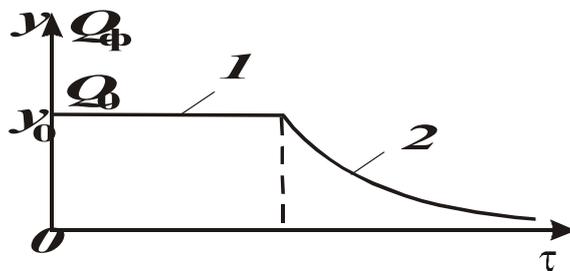


Рис. 4. Зависимость y и Q_f от τ

Выводы

Таким образом, аналитически определены условия повышения производительности обработки с учетом ограничения по величине упругого перемещения, возникающего в технологической системе и определяющего в большинстве случаев финишной абразивной обработки точность размера обрабатываемой поверхности. Используя полученные теоретические решения, можно существенно уменьшить отрицательное влияние упругих перемещений в технологической системе на производительность и другие показатели обработки. Результаты исследований реализованы на практике, в частности на операциях круглого врезного шлифования по жесткой схеме на станках с ЧПУ деталей с износостойкими покрытиями и твердосплавных инструментов, а также на операциях доводки (по упругой схеме) деталей авиационного назначения из труднообрабатываемых материалов. Достигнуто увеличение производительности обработки при обеспечении высокой точности размера и формы обрабатываемых поверхностей.

Список литературы: 1. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Одесса: ОПИ, 1990. – 16 с. 2. Новиков Г.В. Задачи точности и производительности обработки в технологии машиностроения. – Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. Выпуск 14. – Харьков: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, 2000. – С. 31-35. 3. Теоретические основы резания и шли-

фования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. “Механика резания материалов”. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 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.7. “Точность обработки деталей машин”. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ
ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ НА ОСНОВІ БАЛАНСУ ПЕРЕМІЩЕНЬ
В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Новіков Г.В., Кльонон О.С.

Наведено розрахунок пружних переміщень та продуктивності при механічній обробці із урахуванням балансу переміщень в технологічній системі.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ БАЛАНСА
ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Новиков Г.В., Кленов О.С.

Произведен расчет упругих перемещений и производительности при механической обработке с учетом баланса перемещений в технологической системе.

DETERMINATION OF ELASTIC MOVINGS AND PRODUCTIVITY
AT MACHINING ON THE BASIS OF BALANCE
OF MOVINGS IN TECHNOLOGICAL SYSTEM

Novikov G.V., Klyonov O.S.

Calculation of elastic movings and productivity is carried out at machining taking into account balance of movings in technological system.

Рецензент: д.т.н., проф. Гусев В.В.