

ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Фадеев В.А., канд .техн. наук, Новиков Ф.В., докт. техн. наук

У праці на основі теоретичного підходу наведений аналіз зміни пружного переміщення та продуктивності обробки у процесі виходжування при шліфуванні.

Применение инструментов из синтетических сверхтвердых материалов в силу их высокой режущей способности открыло широкие возможности высокоточной обработки изделий из самых твердых материалов. Вместе с тем, как показывает практика, процессы алмазно-абразивной обработки (шлифования и доводки), по-прежнему, остаются весьма трудоемкими при решении задач точности. Это относится к обработке как связанным, так и свободным абразивом (алмазом).

Для анализа технологических возможностей алмазно-абразивной обработки по обеспечению показателей точности обрабатываемых поверхностей, рассмотрим полученные нами аналитические зависимости для расчета величины упругого перемещения y и производительности Q при шлифовании (этап выхаживания, т.е. при отсутствии радиальной подачи) [1]:

$$y = \frac{\Pi}{\left(1 + \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot B} \cdot \frac{c \cdot K_{рез} \cdot V_{рез}}{\sigma}\right)}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{\Pi}{\left(\frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot B} + \frac{\sigma}{c \cdot K_{рез} \cdot V_{рез}}\right)}, \quad (2)$$

где Π - величина снимаемого припуска, м; τ - время обработки, с; $D_{дет}$ - диаметр детали, м; B - ширина шлифования, м; c - приведенная жесткость технологической системы, н/м; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с; σ - условное напряжение резания, н/м²; $K_{рез}$ - коэффициент резания при шлифовании, равный отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания.

Из приведенных зависимостей следует, что с течением времени обработки τ показатели y и Q уменьшаются, т.е. уменьшается погрешность размера детали. В зависимости (1) и (2) входит соотношение $K_{рез} / \sigma$, которое в процессе обработки изменяется в зависимости от режущей способности и шлифовального круга и толщин единичных срезов. Например, по мере затупления круга соотношение $K_{рез} / \sigma$ уменьшается. Это при определенных условиях может привести к тому, что произведение τ и $K_{рез} / \sigma$ будет оставаться постоянным и исправления погрешности обработки (уменьшения величины y) не произойдет. Чтобы обеспечить в процессе обработки уменьшение y , необходимо, во-первых, реализовать максимально возможное значение $K_{рез} / \sigma$, во-вторых, стабилизировать его во времени за счет применения эффективных методов непрерывной правки круга и других средств. Наибольший эффект будет достигаться при условии, если знаменатель зависимости (1) значительно больше единицы. Если знаменатель незначительно отличается от единицы (например, равен 1,1), то с течением времени величина y будет уменьшаться незначительно и процесс исправления погрешности обработки окажется продолжительным.

Из этого следует, что для увеличения знаменателя зависимости (1) необходимо, наряду с увеличением τ и $K_{рез}/\sigma$, увеличивать параметры c и $V_{кр}$, уменьшать ширину шлифования B . Учитывая важность отношения $K_{рез}/\sigma$ в формировании точности обработки, рассмотрим аналитическую зависимость для его определения, приведенную в работе [2]:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho}\right)^2}, \quad (3)$$

где HV , $\tau_{сдв}$ - соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, н/м²; a_z - толщина единичного среза, м; ρ - радиус округления вершины режущего зерна, м.

Как видим, отношение $K_{рез}/\sigma$ вполне однозначно определяется известным отношением a_z/ρ . Между ними существует почти линейная зависимость. Это подтверждает то, что отношение a_z/ρ не случайно в теории шлифования признано основным физическим параметром, определяющим силовую напряженность процесса микрорезания.

В качестве параметра a_z будем рассматривать максимальную толщину среза при шлифовании, которая описывается зависимостью [2]:

$$a_z = \frac{315 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}\right)}}{m \cdot V_{кр} \cdot \rho^2}, \quad (4)$$

где \bar{x} и m - зернистость и объемная концентрация зерен в алмазном круге; $V_{дет}$ - скорость детали, м/с; t - глубина шлифования, м; $R_{кр}$, $R_{дет}$ - радиусы круга и детали, м; ρ - радиус округления вершины режущего зерна, м.

Подставляя (4) в зависимость (3), имеем:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{\bar{x}^2}{3 \cdot \rho^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left[\frac{315 \cdot \pi \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}\right)}}{m \cdot V_{кр}} \right]^2}. \quad (5)$$

Наибольшее влияние на отношение $K_{рез}/\sigma$ оказывают параметры ρ и \bar{x} . По мере затупления зерен круга их радиусы ρ увеличиваются, что приводит к уменьшению $K_{рез}/\sigma$. Следовательно, основным условием увеличения отношения $K_{рез}/\sigma$ и повышения эффективности шлифования необходимо рассматривать обеспечение высокой остроты режущих зерен круга. Исходя из зависимости (5), увеличением зернистости круга \bar{x} также можно добиться существенного увеличения отношения $K_{рез}/\sigma$. Однако, как известно, с увеличением \bar{x} увеличивается радиус ρ , что препятствует росту отношения $K_{рез}/\sigma$.

В рассматриваемом процессе выхаживания при шлифовании поперечная подача равна нулю. Съем металла происходит за счет упругих перемещений в технологической системе. Очевидно, фактическая глубина шлифования t с течением времени будет уменьшаться (вплоть до нуля) и, исходя из зависимости (5), будет приводить к уменьшению отношения $K_{рез}/\sigma$ по закону $t^{1/3}$. Как видим, интенсивность уменьшения

$K_{рез} / \sigma$ не столь существенна. Это не внесет принципиальных изменений в зависимость (1): величина упругого перемещения y с течением времени обработки τ будет непрерывно уменьшаться. Однако, с меньшей интенсивностью, чем при $K_{рез} / \sigma = const$. Для сохранения данной зависимости, как отмечалось выше, необходимо чтобы знаменатель зависимости (1) был значительно больше единицы.

Произведем количественную оценку влияния изменения соотношения $K_{рез} / \sigma$ на показатели Q и y .

Для этого в зависимости (5) произведение параметров режима шлифования $V_{дем} \cdot t$ выразим через производительность обработки $Q = B \cdot V_{дем} \cdot t$. Если подставить преобразованную зависимость (5) в (2), то приходим к уравнению относительно неизвестной Q :

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{\frac{2}{3}} - \Pi = 0, \quad (6)$$

где
$$M = \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дем} \cdot B},$$

$$N = \frac{3 \cdot \rho^2}{c \cdot V_{кр} \cdot \bar{x}^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{HV^2 \cdot \tau_{сдв}}{2} \left[\frac{m \cdot V_{кр}}{315 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{V_{дем}}{B} \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}} \right)}} \right]^2}.$$

Данное уравнение может быть решено лишь численным методом. Для наглядности решения упростим уравнение (6), рассматривая его в виде квадратного уравнения:

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{\frac{1}{2}} - \Pi = 0$$

или
$$x^2 + \frac{N}{M} \cdot x - \frac{\Pi}{M} = 0, \quad (7)$$

где $x^2 = Q$.

Решая квадратное уравнение, после несложных преобразований, имеем:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}. \quad (8)$$

Из зависимости (8) следует, что увеличить производительность обработки Q можно увеличением величины снимаемого припуска Π и уменьшением параметров N и M . Уменьшение N предполагает уменьшение ρ , B , m и увеличение c , $V_{кр}$, $V_{дем}$, \bar{x} . Уменьшение N предполагает уменьшение времени обработки τ , т.е. с течением времени τ производительность обработки Q будет уменьшаться. Это согласуется с начальной зависимостью (2), рассматривая в ней отношение $K_{рез} / \sigma$ постоянным. Однако, влияние времени обработки τ на Q в зависимости (8) значительно ниже, чем в зависимости (2). Следовательно, продолжительнее процесс устранения погрешности размера обрабатываемой детали. Чтобы усилить влияние времени обработки τ на производительность Q , необходимо в зависимости (8) существенно уменьшить параметр N , а параметр M , наоборот, увеличить.

Уменьшение параметра N связано в первую очередь с уменьшением радиуса округления вершины режущего зерна ρ и увеличением зернистости круга \bar{x} . Увеличить

параметр M можно главным образом за счет уменьшения ширины шлифования B , так как $D_{дет}$ - заданная величина.

Если в зависимости (8) слагаемое $\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2}$ будет больше слагаемого $\frac{M}{\Pi}$, то влия-

ние времени обработки τ на производительность будет несущественно и процесс исправления погрешности обработки «растянется» во времени. Это подтверждается практикой шлифования, в особенности при резании затупленным инструментом, когда в процессе длительного выхаживания не удается добиться заметного уменьшения величины упругого перемещения y . Данная закономерность имеет место и при шлифовании алмазным инструментом. В этом случае определяющим фактором является существенное увеличение условного напряжения резания σ за счет увеличения трения связки круга (в особенности металлической связки) с обрабатываемым материалом. В результате отношение $K_{рез} / \sigma$ резко уменьшается и знаменатель зависимости (1) мало отличается от единицы, что не позволяет практически реализовать процесс выхаживания.

Таким образом, на основе теоретического анализа выявлены основные закономерности, способствующие повышению точности и производительности при алмазно-абразивной обработке.

Литература:

1. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Управление упругими перемещениями при финишной механической обработке. – Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тем. випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2002, - № 19. – С. 153-159.
2. Качество и производительность алмазно-абразивной обработки: Учебное пособие /А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
3. Фадеев В.А. Научный подход к выбору оптимальных способов и условий финишной обработки агрегатов авиационной техники. - Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. «ХАИ». Выпуск 14. – Харьков: «ХАИ», 2000. – с. 36-40.
4. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Механика внутреннего алмазного шлифования. – Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2002 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД»; 2002. – с. 10-13.