

УДК 621.923

ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Г.В., канд. техн. наук, Дитиненко С.А. (г. Харьков, Украина)

In this paper we theoretically proved the main directions of improving the accuracy and performance of the finish machining.

При изготовлении ответственных деталей машин наиболее существенной проблемой по-прежнему остается проблема обеспечения высокой точности обрабатываемых поверхностей [1]. И это несмотря на то, что в производстве используются достаточно совершенные станки, инструменты, технологические процессы. Данная проблема обусловлена, прежде всего, наличием упругой системы станка – источника возникновения упругих перемещений и колебаний, вызывающих погрешности обработки. Исключить упругую систему станка из технологического процесса обработки практически невозможно. Поэтому основным путем повышения точности обработки следует рассматривать управление упругими перемещениями и колебаниями при обработке [2].

Общеизвестно, что упругое перемещение y технологической системы в радиальном направлении равно отношению радиальной составляющей силы резания P_y и приведенной жесткости системы c . Неограниченно уменьшая силу P_y , можно реализовать условие $y \rightarrow 0$. Однако это требует существенного уменьшения производительности обработки, что не всегда эффективно. В общем виде сила P_y аналитически описывается [1]:

$$P_y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot S, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; S – площадь поперечного сечения среза (для шлифования $S = Q / V_{кр}$; Q – производительность обработки, м³/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с).

Исходя из зависимости (1), уменьшить силу P_y без уменьшения параметра S (производительности обработки) можно уменьшением соотношения $\sigma / K_{рез}$, определяющего интенсивность силовой напряженности механической обработки. Данное соотношение связано с известным соотношением a_z / R обратно пропорциональной зависимостью, где a_z – толщина среза, м; R – радиус округления вершины режущего зерна (или режущего инструмента). Следовательно, чем больше a_z и меньше R , тем меньше соотношение $\sigma / K_{рез}$. Поскольку параметр a_z линейно связан с S , уменьшить силу P_y (без уменьшения S) можно уменьшением параметра R , обеспечивая высокую остроту режущего инструмента. Это достигается в первую очередь применением лезвийных и абразивных инструментов из синтетических сверхтвердых материалов, обладающих чрезвычайно высокой твердостью и износостойкостью.

Преобразуя зависимость (1), величину упругого перемещения y окончательно можно представить в виде

$$y = \frac{b}{c} \cdot (4 \cdot R \cdot HV)^{0,67} \cdot (a_z \cdot \tau_{сдв})^{0,33}, \quad (2)$$

где b – ширина резания, м; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; $HV, \tau_{сдв}$ – соответственно твердость и предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м².

Из зависимости (2) вытекают основные условия уменьшения величины y , состоящие в уменьшении параметров b, R, a_z и увеличении c . Наибольшее влияние на y оказывают параметры b и c . Однако, уменьшение параметров b и a_z связано с уменьшением производительности обработки. Поэтому эффективно увеличивать c и уменьшать R , как отмечалось выше.

Радиус округления вершины режущего зерна R связан с линейной зависимостью с зернистостью абразивного или алмазного порошка, используемого при алмазно-абразивной обработке. Поэтому важнейшим условием повышения точности обработки необходимо рассматривать снижение зернистости, что подтверждается экспериментальными данными. Если все возможности уменьшения величины y за счет уменьшения параметров c и R исчерпаны, то необходимо уменьшить параметр b , затем a_z , т.к. b в значительно большей степени влияет на величину y , чем a_z .

При точении параметр b описывается зависимостью $b = t / \cos \varphi$, где t – глубина резания, м; φ – угол резца в плане. Следовательно, уменьшение b предполагает уменьшение глубины резания t . При этом важно, чтобы соотношение a_z / R было больше предельного значения, при котором резание неосуществимо, а возможно лишь упруго-пластическое деформирование обрабатываемого материала. Исходя из этого зависимость (2) может быть представлена

$$y = \frac{R \cdot b}{c} \cdot (4 \cdot HV)^{0,67} \cdot (\alpha \cdot \tau_{сдв})^{0,33}, \quad (3)$$

где $\alpha = a_z / R > 0,04$.

При заданном значении α уменьшить величину y можно уменьшением параметров R, b и увеличением c , которые в одинаковой степени влияют на y . При обеспечении наименьшего значения $R \cdot b / c$ зависимость (3) определяет минимально возможное значение y , достигаемое в процесс резания.

Из зависимости (2) вытекает, что решить проблему повышения точности обработки при одновременном обеспечении высокой производительности можно за счет уменьшения ширины среза b и увеличении толщины среза a_z , т.к. эти параметры с различной степенью входят в зависимость. Проведем анализ зависимости (2) для различных процессов алмазно-абразивной обработки. Очевидно, наименьшие значения параметров R и a_z можно достичь при обработке свободным абразивом или инструментом со связанным мелкозернистым абразивом, изготовленным гальваническим методом. Эти инструменты (шлифо-

вальные круги) обеспечивают однослойное (одновысотное) расположение режущих зерен, чего не обеспечивают традиционные абразивные и алмазные круги. Кроме того, изготовить обычные круги мелкой зернистости весьма сложно, что ограничивает возможности уменьшения параметра R в зависимости (2).

Более высокие значения R при шлифовании требуют увеличения параметра a_z для обеспечения условия микрорезания $a_z/R = const$. Отсюда вытекает, что шлифование имеет существенные ограничения с точки зрения достижения высокой точности обработки. При этом следует иметь в виду то, что при шлифовании обрабатываемый материал контактирует со связкой круга, а это дополнительно увеличивает силу резания и величину упругого перемещения. Чтобы исключить (или уменьшить) нежелательное трение связки круга с обрабатываемым материалом, на практике прибегают к различным средствам: применению эффективных технологических сред и методов правки круга, использованию связок круга, обеспечивающих режим его самозатачивания.

Важным резервом повышения эффективности шлифования является применение алмазных кругов на металлических связках. Эти круги за счет более прочного удержания зерен связки позволяют увеличить толщину единичного среза a_z . Это создает эффект снижения величины y при одновременном увеличении производительности обработки, согласно зависимости (2). Однако, как показывает практика, данные алмазные круги в процессе шлифования быстро затупляются и засаливаются и могут быть эффективно использованы при условии их непрерывной или периодической правки за счет использования алмазного электроэрозионного шлифования, основанного на введении в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов.

Для оценки технологических возможностей этого перспективного метода обработки были проведены комплексные экспериментальные исследования алмазного электроэрозионного шлифования изделий из твердых сплавов на операциях плоского, круглого наружного и внутреннего шлифования. Наибольший эффект был достигнут при внутреннем шлифовании, которое характеризуется относительно низкой жесткостью технологической системы и быстрой потерей режущей способности алмазного круга на металлической связке, имеющего небольшую режущую поверхность. Например, при обычном шлифовании алмазным кругом на прочной металлической связке М2-01 в течение 8 минут производительность обработки уменьшилась в 5 раз. Введение в зону резания дополнительной электрической энергии постоянного тока позволило, во-первых, стабилизировать производительность во времени, во-вторых, добиться ее увеличения по сравнению с обычным шлифованием (без тока) и приблизить фактическое и номинальное значение. Этим удалось существенно уменьшить силу резания и упругие перемещения в технологической системе. Исходя из зависимости (1), уменьшение силы P_y произошло за счет уменьшения соотношения $\sigma / K_{рез}$, т.е. увеличения соотношения a_z / R .

Исходя из зависимости (3), уменьшение величины y произошло за счет повышения остроты режущих зерен круга, т.е. уменьшения радиуса их округ-

ления R . Увеличение коэффициента $\alpha = a_z / R$ в данном случае не привело к увеличению величины u , т.к. α входит в зависимость (3) с меньшей степенью, чем R .

На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что основной эффект алмазного электроэрозионного шлифования состоит в обеспечении своевременного удаления с рабочей поверхности круга затупившихся зерен и устранении трения металлической связки круга с обрабатываемым материалом. Это создает условия уменьшения силовой напряженности процесса и повышения производительности и точности обработки. Разработанные технологии алмазного электроэрозионного шлифования твердосплавных инструментов и других изделий [3], а также технологии алмазно-абразивной обработки используются на Харьковском машиностроительном заводе “ФЭД” и других предприятиях.

Литература: 1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 2. Новиков Г.В. Математическая модель формирования упругих перемещений при механической обработке. – Вісник НТУ”ХП”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХП”. – 2005. – № 24. – С. 149-157. 3. Новиков Г.В. Разработка прогрессивных высокопроизводительных технологий алмазного шлифования // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. –2007. – Вип. 61. – С. 222-230.