

Условия повышения точности и чистоты обработки при выхаживании

В работе приведены результаты теоретических исследований параметров точности и шероховатости процесса выхаживания при шлифовании.

Для обеспечения требуемых параметров точности и качества обработки на заключительном этапе шлифования используется выхаживание, т.е. обработка ведется с отключенной радиальной подачей [1, 2]. Как установлено, применение выхаживания является исключительно важным фактором повышения эффективности шлифования. Вместе с тем, с физической точки зрения процесс выхаживания изучен недостаточно полно. Отсутствуют теоретические решения о закономерностях изменения основных параметров обработки и путях интенсификации процесса. Известные (экспериментальные) результаты справедливы для вполне конкретных рассматриваемых условий обработки, что не позволяет провести с единых позиций анализ закономерностей съема припуска и на этой основе выбрать оптимальные параметры финишной обработки. Целью данной работы является теоретический анализ путей повышения эффективности процесса выхаживания при шлифовании.

В работах [3, 4] получены аналитические зависимости для определения производительности обработки Q при выхаживании и отношение коэффициента резания $K_{рез} = P_z / P_y$ к условному напряжению резания σ :

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

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

где P_z , P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;

P – снимаемый припуск, м;

τ – время обработки, с;

$D_{дет}$ – диаметр обрабатываемой детали, м;

B – ширина обработки, м;

c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;

$V_{рез}$ – скорость резания (скорость вращения абразивного инструмента), м/с;

HV , $\tau_{сдв}$ – соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого металла, Н/м²;

a_z – толщина среза при абразивной обработке, м;

ρ – радиус округления режущей кромки инструмента, м.

Как следует из зависимости (1), производительность обработки Q является функцией отношения $K_{рез} / \sigma$, которая в свою очередь зависит от толщины среза a_z и соответственно производительности обработки Q . Для установления данной закономерности, т.е. однозначного представления производительности обработки, воспользуемся аналитической зависимостью для определения максимальной толщины среза a_z при шлифовании [4]:

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

где \bar{X} и m – зернистость и объемная концентрация зерен в алмазном круге;

$V_{кр}$, $V_{дет}$ – скорости круга и детали, м/с;

t – глубина шлифования, м;

$R_{кр}$, $R_{дет}$ – радиусы круга и детали, м;

ρ – радиус округления вершины режущего зерна, м.

Подставляя (3) в зависимость (2), имеем:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{\bar{X}^2}{3 \cdot \rho^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left[\frac{315 \cdot \pi \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)}}{m \cdot V_{кр}} \right]^2} . \quad (4)$$

Наибольшее влияние на отношение $K_{рез} / \sigma$ (рассматривая при шлифовании отношение $K_{ш} / \sigma$, где $K_{ш} = K_{рез}$ – коэффициент шлифования) оказывают параметры ρ и \bar{X} . По мере затупления зерен круга их радиусы ρ увеличиваются, что приводит к уменьшению отношения $K_{ш} / \sigma$. Следовательно, основным условием увеличения отношения $K_{ш} / \sigma$ и повышения эффективности шлифования необходимо рассматривать обеспечение высокой остроты режущих зерен круга. Исходя из зависимости (4), увеличением зернистости круга \bar{X} также можно добиться существенного увеличения отношения $K_{ш} / \sigma$. Однако, как известно, с увеличением \bar{X} увеличивается радиус ρ , что препятствует росту отношения $K_{ш} / \sigma$.

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 (4), будет приводить к уменьшению отношения $K_{рез} / \sigma$ по закону $t^{1/3}$. Как видим, интенсивность уменьшения $K_{рез} / \sigma$ не столь существенна.

Произведем количественную оценку влияния изменения соотношения $K_{рез} / \sigma$ на производительность обработки Q . Для этого в зависимости (4) произведение параметров режима шлифования $V_{дет} \cdot t$ выразим через производительность обработки $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$. Если подставить зависимость (4) в (1), то приходим к уравнению относительно неизвестной величины Q :

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{2/3} - P = 0, \quad (5)$$

где $M = \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot B}$;

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

Данное уравнение может быть решено лишь численным методом. Для наглядности решения упростим уравнение (5), рассматривая его в виде квадратного уравнения:

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{0,5} - \Pi = 0 \text{ или } x^2 + \frac{N}{M} \cdot x - \frac{\Pi}{M} = 0, \quad (6)$$

где $x^2 = Q$.

Решая квадратное уравнение, после несложных преобразований, имеем:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}. \quad (7)$$

Из зависимости (7) 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 , $V_{кр}$, $V_{дет}$, \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 (1), рассматривая в ней отношение $K_{рез} / \sigma$ заданным. Однако влияние времени обработки τ на производительность обработки Q в зависимости (7) значительно ниже, чем в зависимости (1). Следовательно, увеличивается время устранения погрешности размера обрабатываемой детали. Чтобы усилить влияние времени обработки τ на производительность Q , необходимо в зависимости (7) 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 диаметр детали $D_{дет}$ - заданная величина.

Если в зависимости (7) слагаемое $\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2}$ будет больше слагаемого $\frac{M}{\Pi}$, то влияние времени обработки τ на производительность обработки 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.

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 знаменатель зависимости (1) резко увеличивается, соответственно производительность обработки Q неограниченно уменьшается, что не позволяет практически реализовать процесс выхаживания.

Произведем расчет и анализ шероховатости обработанной поверхности на этапе выхаживания при шлифовании. При шлифовании прямолинейного образца без поперечной подачи (т.е. при выхаживании) уравнение, описывающее баланс перемещений в технологической системе, имеет вид [3]:

$$y + V_{\phi} \cdot \tau = \Pi, \quad (8)$$

где y – упругое перемещение в технологической системе, м;

V_{ϕ} - линейная скорость съема металла, м/с;

Π – снимаемый припуск при выхаживании, м.

Упругое перемещение y определяется радиальной составляющей силы резания $P_y = c \cdot y$. Предположим, что при абразивной обработке в контакте с обрабатываемым материалом находится n_0 зерен. Если принять, что режущие зерна выступают над уровнем связки абразивного или алмазно-абразивного инструмента на одинаковую высоту и имеют конусообразную форму режущей части с углом при вершине $2 \cdot \gamma$, то для вдавливания режущих зерен в обрабатываемый металл необходимо приложить радиальную силу P_y , равную

$$P_y = \pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot R_{\max}^2 \cdot n_0 \cdot HV, \quad (9)$$

где R_{\max} – глубина вдавливания режущего зерна в обрабатываемый металл (условно равна максимальной высоте микронеровностей обработанной поверхности – параметру шероховатости обработки R_{\max}), м;

$$n_0 = S \cdot k;$$

где S – площадь контакта инструмента с обрабатываемой деталью, м²;

k – поверхностная концентрация зерен инструмента, шт/м².

Параметр шероховатости обработки R_{\max} при шлифовании образца, движущегося по нормали к кругу со скоростью $V'_{\text{дет}}$, определяется [5]:

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{V'_{\text{дет}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (10)$$

Параметр $V'_{\text{дет}}$ равен V_{ϕ} . Разрешим зависимость (10) относительно скорости $V'_{\text{дет}} = V_{\phi}$ и подставим полученную зависимость в уравнение (8). Подставив в уравнение (8) также зависимость (9), имеем

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{\Pi \cdot c}{\operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot (\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot S \cdot HV + 2 \cdot V_{\text{кр}} \cdot c \cdot \tau)}}. \quad (11)$$

Как видим, с течением времени обработки τ параметр шероховатости R_{\max} уменьшается. Более существенное влияние на параметр R_{\max} оказывают параметры Π , γ , k . Важнейшим условием уменьшения параметра R_{\max} следует рассматривать увеличение поверхностной концентрации зерен k , т.к. увеличение угла γ ведет к уменьшению отношения a_z / ρ , увеличению силовой напряженности и ухудшению процесса резания. Для сравнения определим параметр шероховатости обработки R_{\max} при шлифовании по упругой схеме с фиксированным радиальным усилием P_y , определяемым зависимостью (9):

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{c \cdot y}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot HV \cdot k \cdot S}}. \quad (12)$$

При условии $\tau = 0$ зависимость (11) принимает вид зависимости (12), рассматривая при этом $y = L$. Это означает, что обработка по упругой схеме с фиксированным радиальным усилием P_y приводит к большим значениям параметра шероховатости обработки R_{\max} , чем обработка по упругой схеме с начальным натягом в технологической системе. Значения R_{\max} равны для двух рассматриваемых схем лишь в начальный момент обработки (при условии $\tau = 0$). Следовательно, с точки зрения уменьшения параметра шероховатости R_{\max} эффективно обработку вести по упругой схеме с начальным натягом в технологической системе, т.е. реализуя процесс выхаживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319с.
2. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.
4. 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.
5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с.