

А. Ф. РАБ, канд. техн. наук, Ф. В. НОВИКОВ, С. А. СОШНИКОВ

### АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ КРУГЛОМ ПРОДОЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ С ПРЕРЫВИСТЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Процессы алмазно-абразивной обработки находят все более широкое применение в промышленности. На ряде операций — хонингования, притирки, доводки и т. д. — полностью исключена обработка обычными абразивными инструментами, что существенно повысило производительность процесса и качество изделий. В то же время в инструментальном производстве, особенно на операциях круглого продольного шлифования многолезвийных инструментов, алмазная обработка ограничивается доводкой со съемом очень малых припусков. Съем основного припуска по-прежнему производится абразивными кругами с низкой производительностью и пониженным качеством обработки, обуславливающим снижение работоспособности многолезвийного инструмента.

Основной причиной невозможности съема больших припусков алмазными кругами является их низкая износостойкость, что вызвано ударным характером взаимодействия ножей обрабатываемого многолезвийного инструмента с рабочей поверхностью круга. В этой связи возникает необходимость поиска путей снижения расхода алмазов при шлифовании многолезвийных инструментов. Решение такой задачи возможно расчетно-экспериментальным методом. Аналитическое описание процесса шлифования позволит установить общий характер взаимосвязи параметров процесса, провести оптимизацию и наметить основные пути повышения износостойкости алмазного круга.

Полученные аналитические зависимости позволяют целенаправленно программировать эксперимент с целью получения конкретных рекомендаций по назначению оптимальных условий обработки. При таком подходе к решению задачи, используя ранее полученные зависимости взаимосвязи параметров рабочей поверхности круга, параметров режима шлифования и технологических показателей процесса шлифования\*, представляется возможным основную информацию о физической сущности и основных закономерностях износа круга получать аналитически.

Удельный расход алмазов аналитически можно представить эквивалентной функцией  $\lambda = \frac{H_{\max}}{Q}$  (1), выражающей отношение максимальной толщины единичного среза  $H_{\max}$  к произво-

\* Раб А. Ф., Новиков Ф. В. Оптимизация процесса круглого продольного шлифования по кинематической производительности. — Резание и инструмент, 1981, вып. 26, с. 162—166.

дительности процесса шлифования  $Q$ . Такое выражение  $\lambda$  предполагает зависимость линейного износа круга только от максимальной толщины единичного среза, определяющей статическую нагруженность зерна и механизм его износа в виде скалывания и вырывания зерна из связки. Влияние теплового и динамического факторов на износостойкость круга принимается несущественным.

Производительность съема припуска выразим зависимостью  $Q = B_1 V_{\text{изд}} z$  (2), где  $B_1$  — рабочая ширина круга, мм;  $V_{\text{изд}}$  — окружная скорость изделия, м/мин;  $z$  — поперечная подача, мм/ход.

Полагая  $B_1$  и  $z$  независимыми переменными, выразим  $V_{\text{изд}}$  через  $H_{\text{max}}$  применительно к глубинному шлифованию (1):

$$V_{\text{изд}} = \frac{V \sqrt{2} \operatorname{tg} \gamma k V_{\text{кр}}}{9b \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \frac{H_{\text{max}}^3}{2Vz}. \quad (3)$$

После подстановки (2) и (3) в (1) получим

$$\lambda = \frac{V \sqrt{2} 9b \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}}{\operatorname{tg} \gamma k V_{\text{кр}} H_{\text{max}}^2 B_1 \sqrt{z}}. \quad (4)$$

Из зависимости (4) следует, что при  $H_{\text{max}} = \text{const}$  увеличение  $z$  приводит к снижению  $\lambda$ . Такая закономерность свидетельствует о возможности снижения удельного расхода алмазов, применяя схему глубинного шлифования. Кроме того, с кинематической точки зрения целесообразнее работать с большими толщинами единичных срезов  $H_{\text{max}}$ . Однако беспредельное увеличение  $H_{\text{max}}$  невозможно вследствие ограниченной прочности зерна и его удержания связкой. Превышение критических значений  $H_{\text{max}}$  вызовет катастрофический износ шлифовального круга и потерю его режущей способности.

Установим влияние  $V_{\text{изд}}$  на  $\lambda$ . Для этого разрешим (3) относительно  $H_{\text{max}}$  и подставим полученную зависимость в (1):

$$\lambda = \sqrt{\frac{9b}{\operatorname{tg} \gamma k V_{\text{кр}}}} \sqrt[6]{2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \frac{1}{B_1 V_{\text{изд}}^{2/3} z^{5/6}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что увеличение  $z$  при  $V_{\text{изд}} = \text{const}$  приводит к снижению  $\lambda$ . Однако это снижение, как следует из (3), ограничено критическим значением  $H_{\text{max}}$ . Поэтому увеличение  $z$  возможно до определенной величины, превышение которой вызовет возрастание  $\lambda$ .

Используя (3), запишем предельную поперечную подачу  $z_0$ :

$$z_0 = \frac{H_{\max}^6 \operatorname{tg}^2 \gamma k^2 V_{\text{кр}}^2}{162 b^2 V_{\text{изд}}^2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}. \quad (6)$$

После подстановки (6) в (1) получим условие минимального удельного расхода:

$$\lambda_{\min} = \frac{162 b^2 V_{\text{изд}} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{H_{\max}^5 \operatorname{tg}^2 \gamma k^2 V_{\text{кр}}^2 B_1}. \quad (7)$$

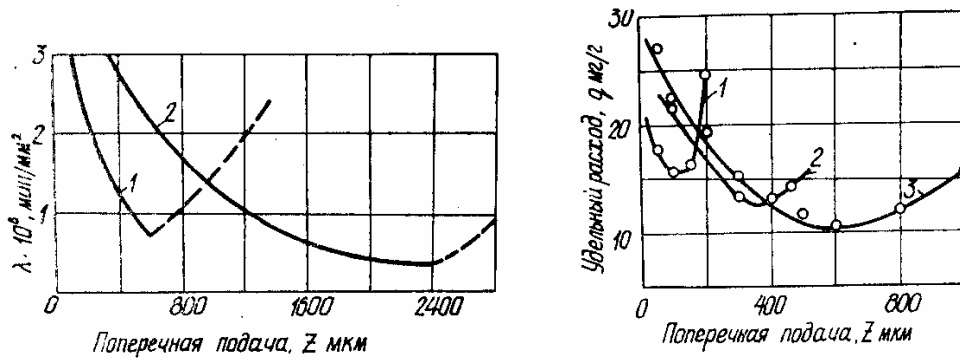


Рис. 1. Зависимость  $\lambda$  от поперечной подачи  $z$ :

1 —  $V_{\text{изд}}=1$  м/мин; 2 —  $V_{\text{изд}}=0,5$  м/мин;  $\operatorname{tg} \gamma=1$ ;  $k=1000$  шт/см<sup>2</sup>;  $b=10$  мкм;  $H_{\max}=10$  мкм;  $R_1=50$  мм;  $R_2=100$  мм;  $V_{\text{кр}}=30$  м/с;  $B_1=20$  мм/об

Рис. 2. Зависимость удельного расхода алмазов  $q$  от поперечной подачи  $z$ :  
1 —  $V_{\text{изд}}=6$  м/мин; 2 —  $V_{\text{изд}}=4$  м/мин; 3 —  $V_{\text{изд}}=1$  м/мин. Круг АПП 300×25×АСВ 250/200 А1-100-МВ1. Обр. материал: твердый сплав ВК15;  $V_{\text{кр}}=35$  м/с;  $B_1=22,5$  мм/об

Из (7) и рис. 1 следует, что  $\lambda_{\min}$  выше при больших значениях  $V_{\text{изд}}$  и наступает при меньших  $z_0$ .

Следовательно, при съеме малых припусков целесообразно работать с большими  $V_{\text{изд}}$ . Пунктирной линией на рис. 1 показано возрастание  $\lambda$ , обусловленное превышением критического значения  $H_{\max}$ . Экспериментальная проверка характера зависимостей (6), (7) показала, что с увеличением  $z$  действительно имеет место минимум удельного расхода  $q$ , который повышается с ростом  $V_{\text{изд}}$ , смещаясь в область меньших значений  $z$  (рис. 2). Таким образом, полностью подтверждается достоверность аналитического описания удельного расхода эквивалентной функцией  $\lambda$ .

Из формулы (6) следует, что увеличение  $V_{\text{изд}}$  требует снижения  $z_0$  по обратной квадратической зависимости. Например, увеличение  $V_{\text{изд}}$  в 6 раз должно снизить  $z_0$  в 36 раз.

По экспериментальным данным, аналогичное увеличение  $V_{\text{изд}}$  (с 1 до 6 м/мин) привело к уменьшению  $z_0$  только в 6 раз, т. е. наблюдается примерно шестикратное расхождение

аналитических и экспериментальных результатов. Для согласованности выражения (6) с данными эксперимента аналитическая формула требует шестикратного увеличения. Учитывая неизменность всех параметров, кроме  $H_{\max}$ , последний должен измениться так, чтобы обеспечить шестикратное увеличение  $z_0$ . Зависимость (6) в этом случае примет вид

$$z_0 = \frac{H_{1\max} \operatorname{tg}^2 \gamma k^2 V_{\text{кр}}^2}{162b^2 V_{\text{изд}}^2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}, \quad (8)$$

где  $H_{1\max} = \sqrt[6]{6} H_{\max} \approx 1,42 H_{\max}$ .

Таким образом, увеличение  $V_{\text{изд}}$  по выражению (6) позволяет повысить критическое значение  $H_{\max}$ , определяемое прочностью зерен и удержания их связкой, что может быть обусловлено уменьшением условного напряжения резания. Следует отметить высокую чувствительность  $z$  к изменению  $H_{\max}$ , поскольку в формуле (6)  $H_{\max}$  входит в шестой степени.

Исходя из (7)  $\lambda_{\min}$  должно изменяться пропорционально  $V_{\text{изд}}$ . Однако эксперимент показывает, что шестикратное увеличение  $V_{\text{изд}}$  вызывает увеличение  $q_{\min}$  только в 1,5 раза. Заменяя по аналогии с расчетом  $z_0$  значение  $H_{\max}$  на  $H_{1\max} \approx 1,42 H_{\max}$  в формуле (7), получим примерно полуторократное увеличение  $\lambda_{\min}$  при росте  $V_{\text{изд}}$  в 6 раз, что хорошо согласуется с экспериментальными данными. Следовательно, снижение  $H_{\max}$  должно приводить к значительному недоиспользованию режущей способности алмазного круга при глубинном шлифовании. Поэтому  $z$  необходимо изменять в ограниченных пределах.

Изложенный расчетно-экспериментальный метод оценки износостойкости алмазных кругов позволяет вскрыть физическую сущность механизма износа круга, обусловленного закономерностью изменения критического значения  $H_{\max}$  и условного напряжения резания при шлифовании, и научно обоснованно установить основные пути снижения удельного расхода алмазов.

*Поступила в редколлегию 06.02.81.*