

УДК 621.923

**Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков, В.В. Нежебовский**

*Харьковский национальный  
экономический университет (Украина)*

**ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МГНОВЕННОЙ И СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУР  
ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

*Приведены результаты исследований тепловой напряженности процесса шлифования и выбора оптимальных условий обработки по температурному критерию.*

ISBN 978-5-7681-0422-1. Современные инструментальные системы. Ч. 1. Курск, 2008 213

В современных машинах и системах широко используется гидроаппаратура, составляющая основу командоаппаратов и исполнительных механизмов. Создание высоких давлений и обеспечение заданной гидроплотности требуют высококачественного изготовления деталей гидроаппаратуры, особенно деталей пар трения, которые работают в условиях интенсивного трения и износа. Однако, как показывает производственный опыт, выполнить высокие требования по качеству обработки указанных деталей весьма сложно, т.к. они изготовлены из материалов с повышенными физико-механическими характеристиками и их обработка сопряжена с образованием температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях. Это относится к обработке внутренних и плоских поверхностей деталей, изготовленных из труднообрабатываемых закаленных высокопрочных сталей и сплавов. Поэтому актуальной задачей по-прежнему является поиск новых технологических решений по повышению качества и производительности обработки, основанных на научно-обоснованном выборе рациональной структуры и параметров операций. Это требует обоснования технологических закономерностей формирования параметров качества обработки на основе проведения анализа тепловой напряженности различных методов финишной абразивной и лезвийной обработок. Важными решениями в этом плане следует рассматривать результаты исследований теплофизики процессов механической обработки, в особенности мгновенной и средней температур при шлифовании, которые (по мнению проф. Е.Н. Маслова) в совокупности позволяют раскрыть физическую сущность тепловых процессов при шлифовании и определить основные условия повышения качества и производительности обработки, однако не достаточно изучены и требуют дальнейших исследований.

В связи с этим была разработана математическая модель определения мгновенной и средней температур при шлифовании, а также глубин их проникновения в поверхностный слой обрабатываемой детали с учетом баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь [1]. На первом этапе определены мгновенная температура  $\theta$  и глубина ее проникновения  $l_2$  в по-

верхностный слой обрабатываемой детали при микрорезании единичным зерном на основе расчетной схемы, в которой снимаемый припуск условно представлен множеством бесконечно тонких адиабатических стержней, которые перерезаются со скоростью  $V_{рез}$ , определяющей скорость перемещения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали.

$$\theta = \theta_{max} \cdot z; l_2 = a \cdot \frac{z}{\bar{l}_1}; \bar{l}_1 = \frac{c\rho}{\lambda} a V_{рез} = -\ln(1-z) - z, \quad (1)$$

где  $\theta_{max} = \sigma/c \cdot \rho$  – максимально возможная мгновенная температура, К;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К;  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $z$  – относительная величина температуры, изменяется в пределах 0...1;  $\bar{l}_1$  – безразмерная величина;  $a$  – толщина среза, м;  $V_{рез} = V_{кр} \cdot \operatorname{tg}\gamma\beta$ ;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с;  $\beta$  – условный угол сдвига обрабатываемого материала.

Расчетами установлено, что с увеличением скорости круга  $V_{кр}$  и толщины среза  $a$  относительная величина температуры  $z$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. В этом случае практически все тепло, выделяющееся при резании, уходит в образующуюся стружку. В обрабатываемую деталь уходит незначительная часть тепла. Параметр  $l_2$  с увеличением скорости круга  $V_{кр}$  уменьшается, а с увеличением толщины среза  $a$  увеличивается. Из этого вытекает, что уменьшить параметр  $l_2$  и добиться повышения качества обработки можно за счет существенного увеличения скорости круга  $V_{кр}$  путем перехода в область высокоскоростного шлифования, обеспечивая при этом мгновенную температуру  $\theta$  ниже температуры плавления обрабатываемого материала.

В работе также установлено, что средняя температура при шлифовании, как и мгновенная температура, аналитически описывается зависимостью (1), рассматривая в ней вместо толщины среза

$a$  глубину шлифования  $t$  и представляя скорость  $V_{рез}$  в виде  $V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{t/2 \cdot R_{кр}}$ , где  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;  $R_{кр}$  – радиус круга, м. Поскольку  $V_{кр} > V_{дет}$ ,  $tg\beta > \sqrt{t/2 \cdot R_{кр}}$ , то мгновенная температура при шлифовании (рис. а, кривая 1) будет больше средней температуры (рис. а, кривая 2), а глубина проникновения мгновенной температуры в поверхностный слой обрабатываемой детали  $l_2$ , наоборот, меньше глубины проникновения средней температуры (рис. б), которая может многократно превышать глубину шлифования  $t$ . Это хорошо согласуется с экспериментальными данными.

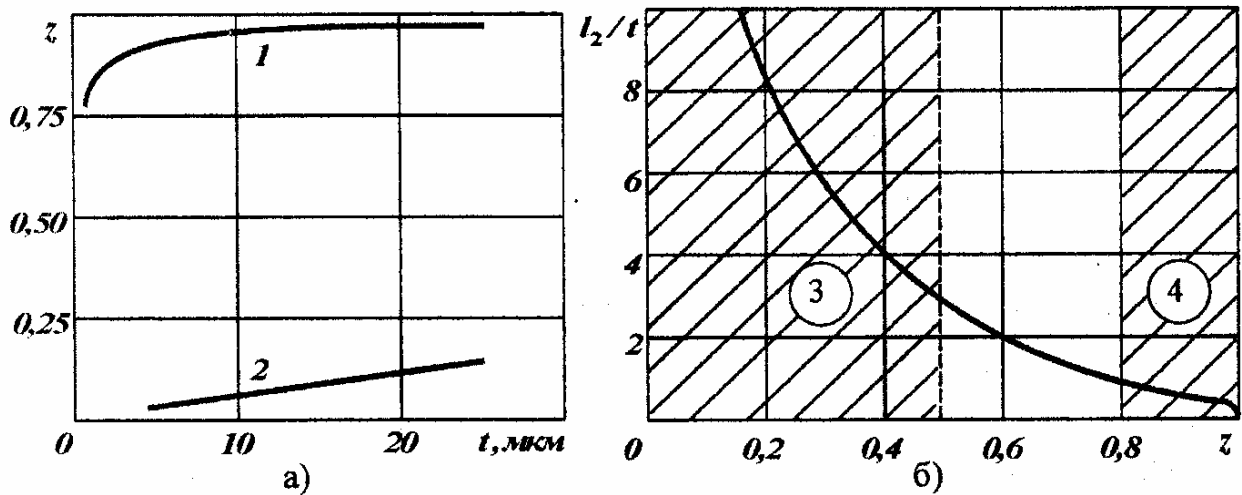


Рис. Зависимости  $z$  от  $t$  (а) и  $l_2/t$  от  $z$  (б): 1 –  $V_{кр}=27,5$  м/с;  $tg\beta=0,25$ ; 2 –  $V_{дет}=30$  м/мин; диаметр круга  $D_{кр}=0,45$  м; обрабатываемый материал – сталь ШХ15 (коэффициент температуропроводности  $a = \lambda / c\rho = 8,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с); 3 и 4 определяют диапазоны изменения средней и мгновенной температур при шлифовании

Следовательно, средняя температура является определяющей при формировании параметров качества обработки при шлифовании, и поэтому ее необходимо уменьшать. Установлено, что с физической точки зрения средняя температура обусловлена процессом трения круга с обрабатываемым материалом. При отсутствии трения средняя температура фактически равна нулю и тепловую напряженность процесса будет определять мгновенная температура, что способствует повышению качества обработки (за счет перехода

из зоны 1 в зону 2, показанных на рис. б). При наличии трения круга с обрабатываемым материалом уменьшить глубину проникновения средней температуры в поверхностный слой обрабатываемой детали  $l_2$  (аналогично уменьшению глубины проникновения мгновенной температуры) можно увеличением скорости детали  $V_{дет}$  при одновременном уменьшении глубины шлифования  $t$ . В связи с этим получены приближенные аналитические зависимости для определения средней температуры при шлифовании  $\theta$  и параметра  $l_2$ , справедливые для условия  $z < 0,6$ :

$$\theta = \frac{\sigma z}{c_p} = \sigma \sqrt{\frac{2}{c_p \lambda} t V_{дет} \sqrt{\frac{t}{2R_{кр}}}}, \quad l_2 = \sqrt{2 \frac{\lambda}{c_p} \frac{\sqrt{2tR_{кр}}}{V_{дет}}}. \quad (2)$$

Как видно, скорость детали  $V_{дет}$  по-разному влияет на среднюю температуру  $\theta$  и параметр  $l_2$ . Чем больше  $V_{дет}$ , тем меньше параметр  $l_2$  и больше средняя температура  $\theta$ . Несомненно, с точки зрения повышения качества обработки необходимо параметр  $l_2$  уменьшать, т.е. увеличивать скорость детали  $V_{дет}$ , а увеличивающуюся среднюю температуру  $\theta$  следует компенсировать уменьшением глубины шлифования  $t$ . Этим можно добиться уменьшения параметра  $l_2$  и средней температуры  $\theta$  без уменьшения производительности обработки, определяемой произведением параметров  $V_{дет} t$ .

В работе также установлено, что уменьшить параметр  $l_2$  и мгновенную температуру наиболее просто в условиях лезвийной обработки, в особенности при высокоскоростном фрезеровании. При этом фактически исключается средняя температура (см. рис. б, зона 1), которая при шлифовании обусловлена трением связки круга с обрабатываемым материалом. Определяющей становится мгновенная температура (см. рис. б, зона 4), которая будет заведомо ниже температуры плавления обрабатываемого материала. В результате чего качество и производительность обработки будут выше, чем при шлифовании, что подтверждается практическими результатами.

Для оценки достоверности теоретических решений были проведены экспериментальные исследования круглого внутреннего шлифования на станке с ЧПУ модели «Studer» детали из труднообрабатываемой цементированной стали 16ХЗНВФМБ-Ш. Установлено, что в широких диапазонах изменения параметров режимов шлифования образуются прижоги и происходит растрескивание обрабатываемого материала, обусловленное температурным фактором. Глубины проникновения прижогов составляют 100...200 мкм. Это значительно больше глубины шлифования, изменяющейся в пределах 1 мкм, т.е. справедливо соотношение  $l_2/t > 1$ , что указывает на определяющую роль в образовании прижогов средней температуры, обусловленной трением круга с обрабатываемым материалом. Установлено, что исключить температурные дефекты на обрабатываемых поверхностях в процессе шлифования можно: во-первых, за счет снижения интенсивности трения круга с обрабатываемым материалом, применяя для этого среднемягкие круги, импрегнированные (термообработанные) круги, а также твердые смазки в зоне шлифования; во-вторых, за счет уменьшения скорости круга до значений 18...20 м/с в связи с тем, что в зоне шлифования имеет место достаточно интенсивное трение круга с обрабатываемым материалом. В итоге увеличена предельная скорость радиальной подачи (до значения 0,22 мм/мин) и, соответственно, производительность обработки. Следовательно, разработанная в работе математическая модель определения мгновенной и средней температур и глубин их проникновения в поверхностный слой обрабатываемой детали позволяет научно обоснованно подойти к выбору условий повышения качества и производительности обработки.

---

1. Новиков, Ф.В. Математическая модель определения температуры при шлифовании на основе учета баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь [Текст] / Ф.В. Новиков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. 2007. Вип. 61. С. 23-33.