

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИЯХ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИВОДОВ ШАХТНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет)

**Ковальчук А.Н.**, канд. техн. наук, **Нежебовский В.В.**

(ОАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”)

*Justified by the conditions of quality and productivity formation-processing operations on zuboshlifovaniya gear drive shaft con- Weyer*

Шлифование зубьев зубчатых колес приводов шахтных конвейеров (изготавливаемых в ОАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”) является важнейшим условием повышения их качества и ресурса работы. Поэтому совершенствование операций зубошлифования имеет большое практическое значение [1]. Установлено, что основным недостатком операций зубошлифования является низкое качество обработки (обусловленное образованием на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов), а также низкие показатели точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Снижение режимов резания позволяет повысить качество обработки, однако это ведет к уменьшению производительности обработки, что малоэффективно. В связи с этим, целью работы является научно обоснованный выбор оптимальных режимов резания и характеристик кругов с учетом температурного фактора.

Для достижения поставленной цели обоснованы условия повышения качества и

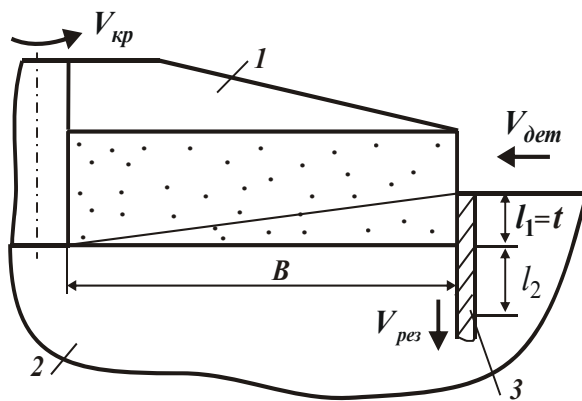


Рис. 1. Расчетная схема торцевого шлифования: 1 – круг; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень.

производительности обработки при зубошлифовании на основе установления аналитической связи между температурой шлифования  $\theta$  и глубиной  $l_2$  проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при торцевом шлифовании (рис.1) [2,3]:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l_1}{c \cdot \rho \cdot l_2}, \quad (1)$$

$$l_1 = \sqrt{\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез} \cdot l_1}{2 \cdot \lambda}} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho \cdot t}{2 \lambda \cdot B} \cdot Q_{уд}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup> (энергоемкость обработки, Дж/м<sup>3</sup>);  $\tau$  – время обработки, с;  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К;  $l_1$  – толщина слоя снятого материала, равная при торцевом шлифовании глубине шли-

фования  $t$ , м;  $V_{рез} = t \cdot V_{дет} / B$  – скорость перерезания адиабатического стержня, которыми представлен снимаемый припуск, м/с;  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;  $B$  – длина рабочей части круга (длина контакта круга с деталью), м;  $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$  – удельная производительность обработки, м<sup>2</sup>/с.

Как вытекает из (1), уменьшение  $\theta$  предполагает увеличение глубины  $l_2$ . Следовательно, единственно возможным путем одновременного уменьшения параметров  $\theta$  и  $l_2$  и таким образом повышения качества обработки является уменьшение  $\sigma$  в результате снижения интенсивности трения в зоне шлифования и повышения режущей способности круга. Расчетами установлено, что при шлифовании стали ШХ15 ( $c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>·град) отношение  $l_1/l_2 < 1$ , рис. 2,а. Установлено также, что обеспечение значений  $\theta$ , меньших температуры плавления стали ШХ15 ( $\theta_{пл} = 1500^\circ\text{C}$ ), возможно при  $l_1/l_2 \ll 1$ , рис. 2,б. Это связано с относительно большими значениями условного напряжения резания при шлифовании  $\sigma = \sigma_{сж} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{ш}^2}) / K_{ш}$ , где  $K_{ш} = P_z / P_y = 0,1 \dots 1$ ;  $P_z, P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup> (для стали ШХ15  $\sigma_{сж} = 2 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>). Поэтому весьма сложно одновременно уменьшить температуру шлифования  $\theta$  до требуемого уровня и выполнить условие  $l_1/l_2 \rightarrow 1$  и таким образом добиться повышения качества обработки. Реально можно выполнить лишь одно условие: уменьшить  $\theta$  за счет увеличения  $l_2$ . В этом случае исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов. Однако, в связи с увеличением  $l_2$  возможны структурные изменения поверхностного слоя обрабатываемой детали, которые не всегда можно устранить на последующем проходе круга, т.к.  $l_1/l_2 \ll 1$ . Поэтому, наряду с обеспечением заданного значения  $\theta$ , необходимо стремиться к уменьшению параметра  $l_2$  за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ .

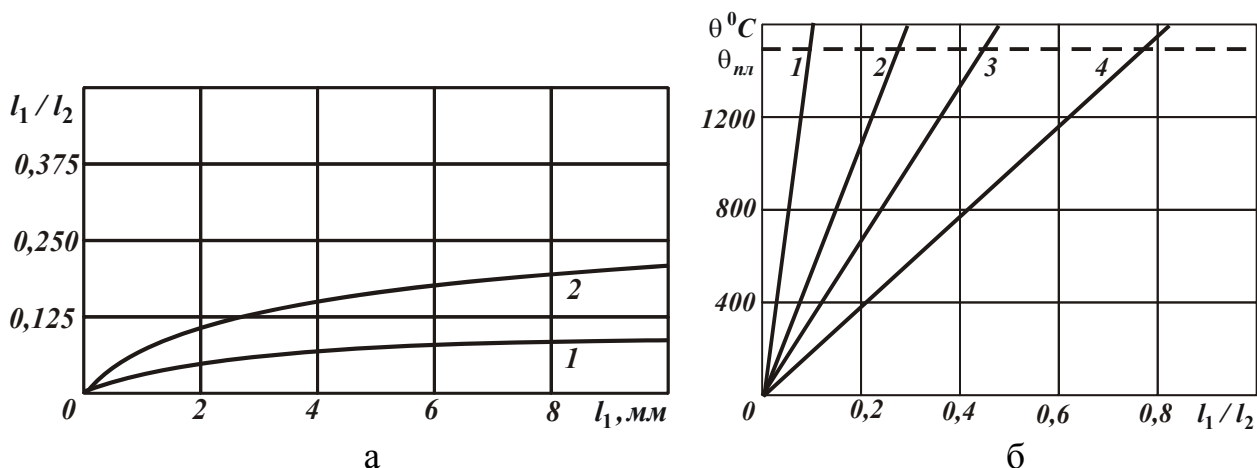


Рис. 2. Зависимости  $l_1/l_2$  от  $l_1$  (1 –  $V_{рез} = 2$  мм/мин; 2 –  $V_{рез} = 10$  мм/мин) (а) и  $\theta$  от  $l_1/l_2$  (1 –  $K_{ш} = 0,1$ ; 2 –  $K_{ш} = 0,3$ ; 3 –  $K_{ш} = 0,5$ ; 4 –  $K_{ш} = 1$ ) (б).

При шлифовании на обрабатываемых поверхностях, кроме прижогов, образуются микротрещины, обусловленные высоким градиентом температуры:

$$\text{grad}\theta = \frac{\theta}{l_2} = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{\text{дем}} \quad (3)$$

Уменьшить  $\text{grad}\theta$  и исключить образование микротрещин, исходя из зависимости (3), можно уменьшением температуры шлифования  $\theta$  и увеличением глубины  $l_2$ , что соответствует установленному выше условию исключения прижогов и достигается уменьшением параметров  $\sigma$ ,  $t$ ,  $V_{\text{дем}}$  и увеличением  $B$ . Следовательно, добиться одновременного уменьшения  $\text{grad}\theta$ , температуры шлифования  $\theta$  и глубины  $l_2$  и таким образом исключить образование микротрещин и прижогов на обрабатываемой поверхности (при заданной производительности обработки) можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ .

Используя полученное теоретическое решение, произведена оптимизация параметров режимов зубошлифования с учетом температурного фактора. Как следует из зависимостей (1) и (2), уменьшить температуру шлифования  $\theta$  при одной и той же производительности обработки можно уменьшением глубины шлифования  $t$ , т.е. увеличивая количество проходов круга при съеме заданного припуска  $\Pi$ . Однако, это ведет к увеличению вспомогательного времени, связанного с реверсированием стола станка. Поэтому существует оптимальное количество проходов круга  $n$ , при котором штучное время  $T_{\text{шт}}$  (равное сумме основного  $T_{\text{осн}}$  и вспомогательного  $T_{\text{всп}}$  времени обработки на операции зубошлифования) принимает минимальное значение. Зависимость для определения  $T_{\text{шт}}$  имеет вид

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot (\tau_{\text{осн}} + \tau_{\text{всп}}) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{\text{всп}} \cdot \gamma, \quad (4)$$

где  $T_{\text{осн}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{\text{осн}}$ ;  $T_{\text{всп}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{\text{всп}}$ ;  $z$  – количество зубьев;  $k$  – количество двойных возвратно-поступательных движений круга вдоль обрабатываемого зуба за один проход;  $\tau_{\text{осн}} = L / V_{\text{дем}}$  – основное время обработки за один двойной ход круга, с;  $L$  – длина продольного хода круга, м;  $\tau_{\text{всп}}$  – вспомогательное время

обработки за один двойной ход круга, с;  $\gamma = \left( \frac{n_{\text{экстр}}^2}{n} + n \right)$  – безразмерная величина.

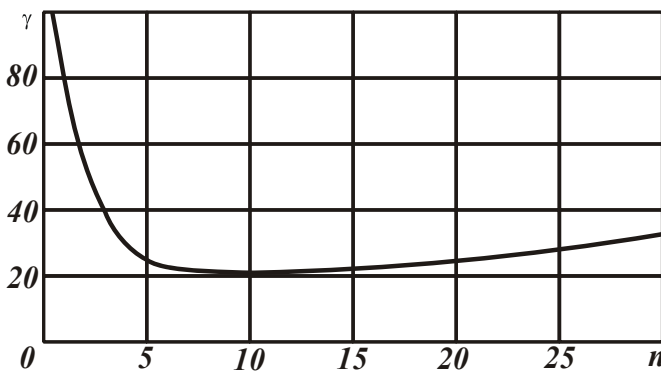


Рис. 3. Зависимость  $\gamma$  от  $n$  для  $n_{\text{экстр}} = 10$ .

Подчиняя зависимость (4) необходимому условию экстремума  $T'_{\text{шт}n} = 0$ , определены экстремальные значения  $n_{\text{экстр}}$ ,  $V_{\text{дем}}$  и минимальное значение  $T_{\text{шт}}$ :

$$n_{\text{экстр}} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{\text{всп}}}}, \quad (5)$$

$$V_{\text{дем}} = \frac{L}{\tau_{\text{всп}}}, \quad (6)$$

$$T_{\text{шт}min} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{\text{экстр}} \cdot (\tau_{\text{всп}} + \tau_{\text{всп}}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{\text{всп}}}. \quad (7)$$

Первое и второе слагаемые зависимости (7) равны между собой, т.е. равны основное  $\tau_{осн}$  и вспомогательное  $\tau_{всп}$  время обработки. Уменьшить  $T_{ум, мин}$  можно прежде всего уменьшением параметров  $\sigma$  и  $\Pi$  при заданном значении  $\theta$ . При этом экстремальное значение  $V_{дем}$  тем больше, чем меньше вспомогательное время  $\tau_{всп}$ . Для исходных данных:  $\rho=14,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $c=40$  кал/(кг·град);  $\lambda=14$  кал/(м·град);  $\sigma=10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\theta=1000^0$ С;  $\Pi=0,4$  мм;  $L=100$  мм;  $B=30$  мм;  $\tau_{всп}=1$ с, учитывая  $t = \Pi / n$ , получено:  $n_{экстр}=9$ ;  $V_{дем}=6$  м/мин;  $t=0,045$  мм. Анализируя график (рис. 3), можно сделать вывод о том, что безразмерная величина  $\gamma$  не столь существенно изменяется в диапазоне  $n=5 \dots 20$ . Это свидетельствует об эффективности съема припуска за небольшое количество проходов круга (в пределах 5 проходов). Таким образом, предложена новая методика расчета оптимальных условий обработки при шлифовании по критерию наименьшего штучного времени обработки с учетом ограничения по температуре шлифования.

В работе также определены условия одновременного обеспечения требований по точности и качеству обработки при шлифовании, обусловленных заданными значениями величины упругого перемещения  $y$ , возникающими в технологической системе, и температуры шлифования  $\theta$ :

$$y = \frac{P_y}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot K_{ум}} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{дем}}{V_{кр}}, \quad (8)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дем}}{B}}, \quad (9)$$

где  $C$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;  $h$  – ширина шлифования, м;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с.

Исходя из зависимостей (8) и (9), это достигается уменьшением параметров  $\sigma$ ,  $t$ ,  $V_{дем}$  и соответственно производительности обработки. Причем, для обеспечения заданной величины  $y$  требуется более существенное уменьшение производительности обработки. Это предполагает применения как предварительного, так и окончательного шлифования. При предварительном шлифовании целесообразно обеспечить заданную температуру  $\theta$  за счет выбора оптимальной глубины шлифования  $t$ , удовлетворяющей зависимости (9). При окончательном шлифовании необходимо обеспечить заданную величину  $y$ , устанавливая глубину шлифования  $t$  в соответствии с зависимостью  $y = t / \varepsilon$ , и количество проходов  $n$  при выхаживании в соответствии с зависимостью

$$y = t / \varepsilon^n, \text{ где } \varepsilon = (1 + \alpha) - \text{уточнение; } \alpha = \frac{C \cdot K_{ум} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дем}} - \text{безразмерный параметр.}$$

Расчетами установлено, что с увеличением величин  $n$  и  $\alpha$  (уменьшением  $V_{дем}$ ) в одинаковое количество раз (что соответствует одинаковому уменьшению производительности обработки) безразмерная величина  $y/t$  уменьшается с разной интенсивностью (рис. 4,а). Более интенсивно – с увеличением  $n$ . Это свидетельствует об эффективности применения схемы выхаживания по сравнению с шли-

фованием по жесткой схеме. Установлено также, что при начальном значении  $\alpha = \alpha_0 \geq 1$  величина  $y/t$  с увеличением  $n$  уменьшается более чем по линейной зависимости (рис. 4,б). Это превосходит интенсивность уменьшения величины  $y/t$  в зависимости от  $n$  при условии уменьшения глубины шлифования  $t$ . Поэтому при  $\alpha < 1$  (или  $\varepsilon < 2$ ) целесообразно использовать шлифование по жесткой схеме, а при  $\alpha \geq 1$  (или  $\varepsilon \geq 2$ ) – шлифование по схеме выхаживания, исключая таким образом из технологического процесса операцию окончательного шлифования. Из этого вытекает, что коэффициент  $\alpha$ , а, следовательно, и уточнение  $\varepsilon = (1 + \alpha)$  определяют оптимальный маршрут обработки (рис. 5). Однако для этого необходимо располагать количественными значениями уточнения  $\varepsilon$ , которые устанавливаются расчетно-экспериментальным путем.

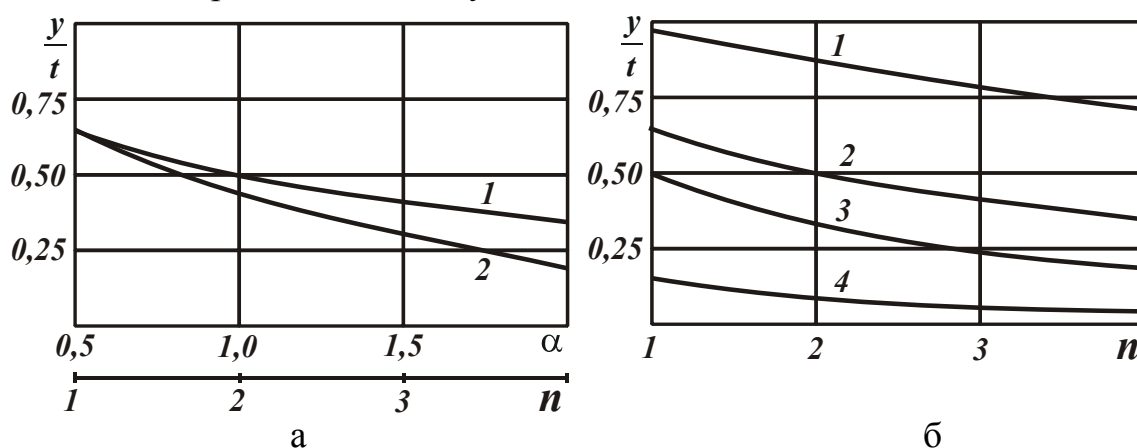


Рис. 4. Зависимость  $y/t$  от величин  $\alpha$  (1) и  $n$  (2) для  $\alpha_0 = 0,5$  (а) и зависимость  $y/t$  от  $n$  при выхаживании (б): 1 –  $\alpha_0 = 0,1$ ; 2 –  $\alpha_0 = 0,5$ ; 3 –  $\alpha_0 = 1$ ; 4 –  $\alpha_0 = 5$ .

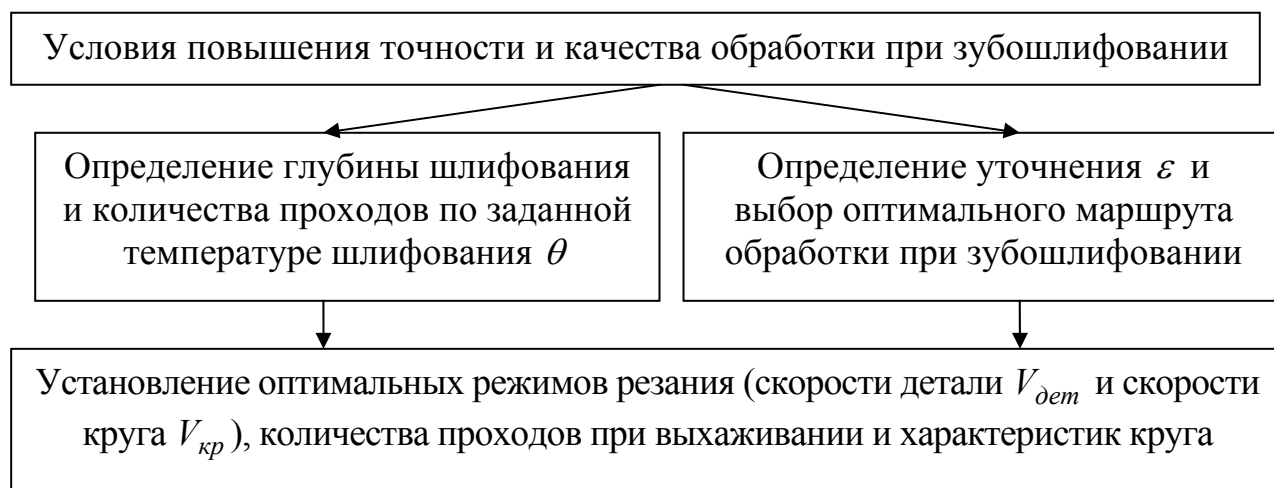


Рис. 5. Структурная схема условий повышения точности и качества обработки при зубошлифовании.

Для оценки достоверности теоретических решений проведены экспериментальные исследования параметров процесса зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров. Экспериментально установлено, что при шлифовании стали 18ХГН2МФБ твердостью  $HRC\ 57...63$  энергоёмкость обработки (условное

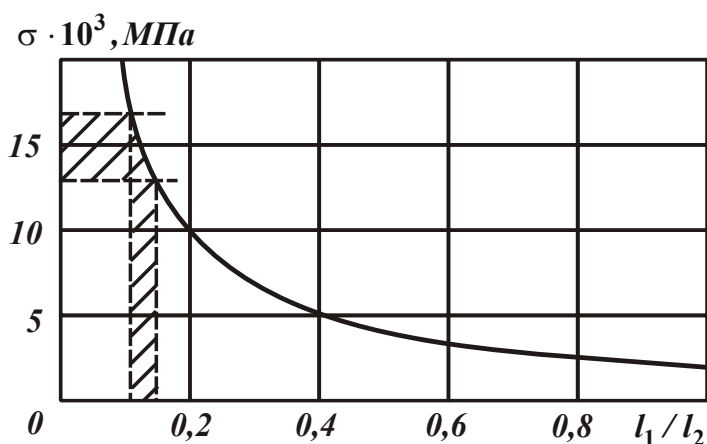


Рис. 6. Зависимость  $\sigma$  от  $l_1/l_2$  для  $\theta=800^0\text{C}$ .

в этих условиях можно лишь за счет уменьшения температуры шлифования  $\theta$  путем уменьшения энергоемкости обработки, что достигается применением кругов с более высокой режущей способностью. Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими решениями.

Используя экспериментальные значения энергоемкости обработки, произведены расчеты по зависимостям (5) и (6) оптимальных параметров режима шлифования зубчатого колеса из стали 18ХГН2МФБ твердостью  $HRC\ 57\dots 63$  по критерию наименьшего штучного времени обработки с учетом ограничения по температуре шлифования  $\theta$ . Теоретически установлено, что при зубошлифовании на станке мод. 5843ЕМ (работающем по методу обкатывания кругом конического профиля) абразивным кругом 2П 400x32x127 24А10СМ2К6 сьем припуска 0,4 мм может быть произведен за 5 проходов круга с глубиной шлифования  $t=0,08$  мм и

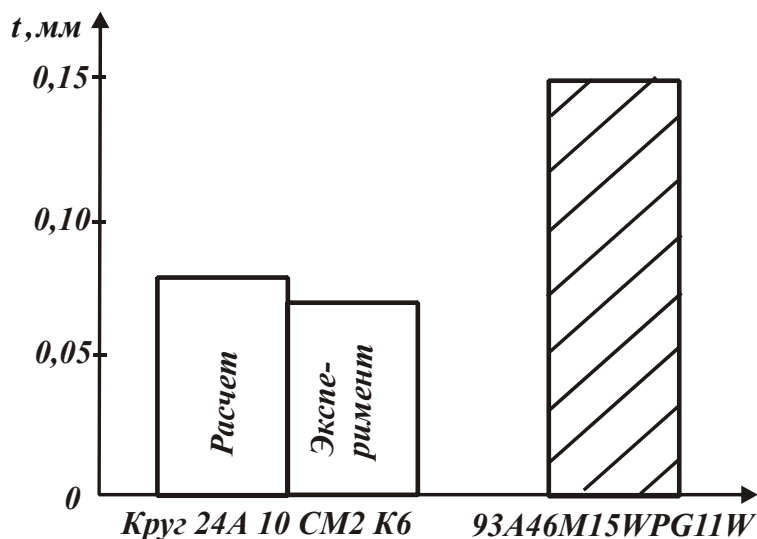


Рис. 7. Расчетные и экспериментальные значения предельной глубины шлифования  $t$ .

дение расчетных и экспериментальных данных (в пределах 15%) и свидетельствует о достоверности теоретических решений.

напряжение резания)  $\sigma$  изменяется в пределах 13117...16964 МПа, а отношение  $l_1/l_2$ , установленное расчетно-экспериментальным путем (рис. 6), равно  $l_1/l_2 < 0,2$ . Поэтому на каждом последующем проходе круга нельзя устранить нарушенный на предыдущем проходе (в результате теплового воздействия) поверхностный слой детали. Повысить качество обработки

скоростью детали  $V_{дет}=12$  м/мин. Исходные данные для расчета:  $c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·град);  $\lambda = 42$  Вт/(м·град);  $\sigma = 15 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\theta = 800^0\text{C}$ ;  $\Pi = 0,4$  мм;  $L = 100$  мм;  $\tau_{всн} = 0,5$  с;  $B = 6,32$  мм. Экспериментальные исследования показали, что исключить образование прижогов на обрабатываемой поверхности при шлифовании данным кругом можно при глубине шлифования не более 0,07 мм (рис. 7). Это указывает на незначительное расхождение

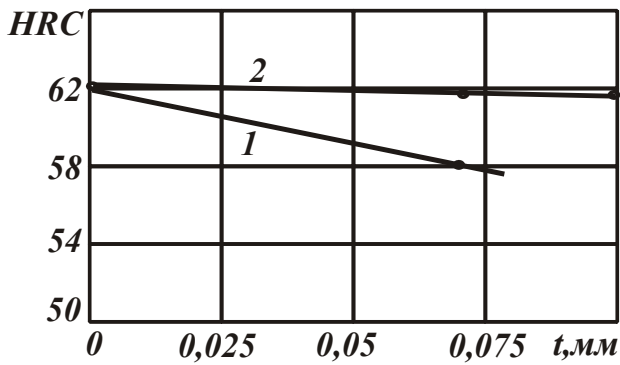


Рис. 8. Зависимость твердости  $HRC$  обработанной поверхности детали от глубины шлифования  $t$ : 1 – круг 24А 10 СМ2 8 К6; 2 – 93А46М15WPG11W.

Экспериментально установлено, что шлифование кругом T1ESP 400x32x127 93A46M15WPG11W, обладающим повышенной режущей способностью, позволяет увеличить предельную глубину шлифования и скорость круга (при которых исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов) соответственно до значений 0,15 мм и 40 м/с. Твердость обработанной поверхности в диапазоне  $t=0,01...0,1$  мм фактически не изменяется, тогда как при шлифовании кругом 2П 400x32x127 24А 10

СМ2 8 К6 – уменьшается (рис. 8), что естественно снижает износостойкость обработанной поверхности зубчатого колеса. Следовательно, применение данного круга позволяет сьем заданного припуска 0,4 мм осуществить за 4 прохода, гарантированно исключая образование прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях. При этом увеличиваются стойкость круга между правками с одной до трех смен и срок работы круга до его полного износа с одного до трех месяцев. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении производительности обработки и о возможности реализации установленного теоретически наименьшего штучного времени обработки для заданной температуры шлифования.

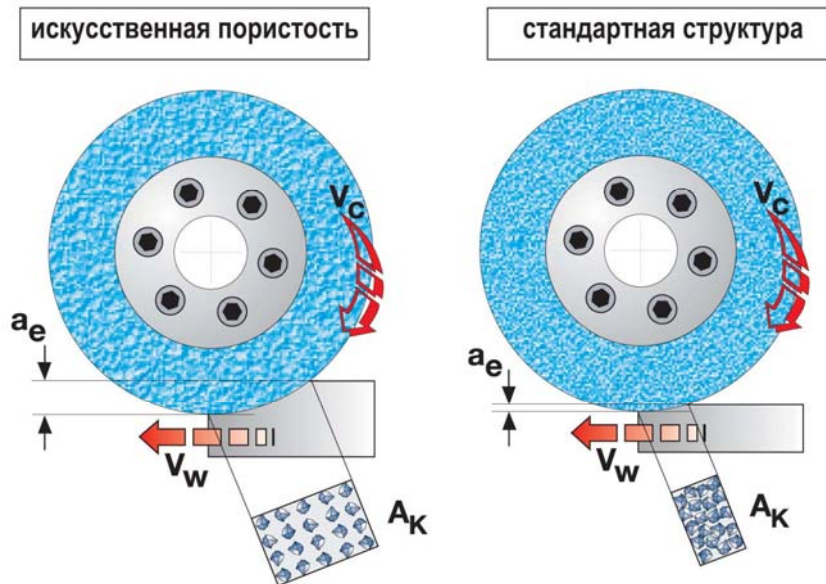
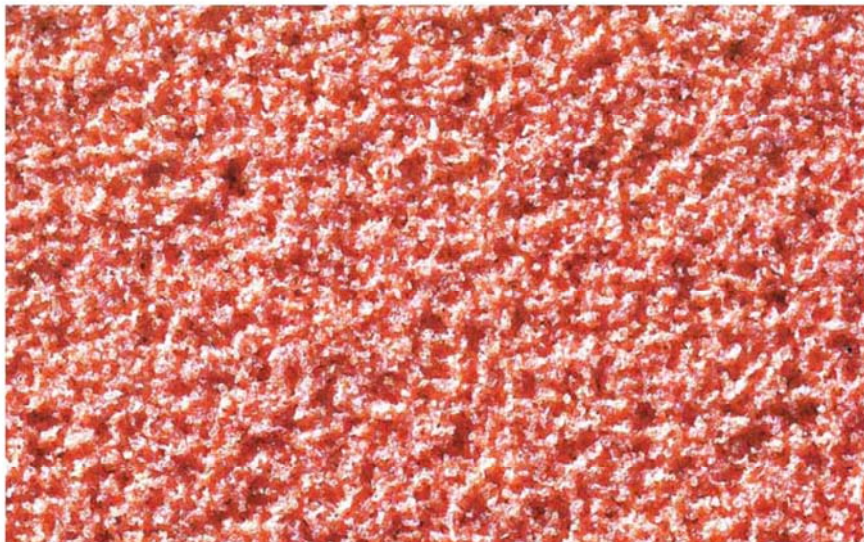


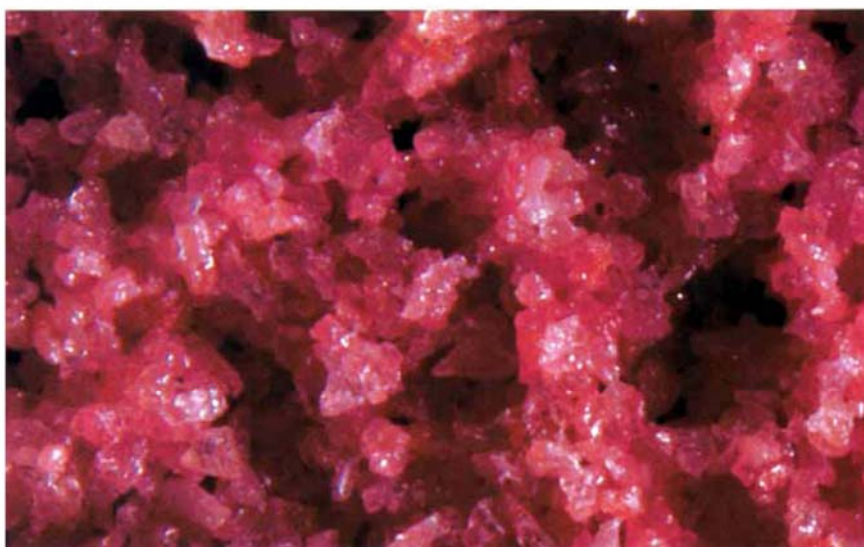
Рис. 9. Схемы шлифования кругами с искусственной пористостью и стандартной структурой.

По данным компании "Винтертур", высокая пористость абразивного круга T1ESP 400x32x127 93A46M15WPG11W обеспечивает его работу в режиме

Микроструктурные круги с искусственной пористостью



53A120 L15VPMF302W (средняя пористость для круглого шлифования)



57A46 H18VPHGG900W (высокопористая структура с крупными порами для максимального срезания материала; в основном применяется для деталей авиационной промышленности, с трудом поддающихся шлифованию).

Рис. 10. Фотографии микроструктуры абразивных кругов с искусственной пористостью.

интенсивного самозатачивания, поддерживая, таким образом, в процессе шлифования высокую режущую способность круга. Это достигается благодаря уменьшению количества абразивных зерен, расположенных на единице площади рабочей поверхности круга. В результате увеличивается сила резания, действующая на отдельное зерно, что обеспечивает его разрушение, т.е. приводит к



самозатачиванию и повышению остроты режущих кромок зерна. На рис. 9 показаны схемы шлифования кругами с искусственной пористостью и стандартной структурой. Как следует из рисунка, в первом случае абразивные зерна расположены реже на рабочей поверхности круга, что предопределяет его работу в режиме самозатачивания. На рис. 10 приведены фотографии микроструктуры абразивных кругов с искусственной пористостью. На рис. 11 показаны поверхности режущих зерен из обычных и спеченных корундов. В первом случае поверхность зерна гладкая, а во втором случае – с острыми кромками, являющимися результатом расщепления зерна вследствие его самозатачивания. По сути, режущие зерна из обычных корундов являются затупленными, а режущие зерна из спеченных корундов – самозатачивающимися. Для того чтобы полностью использовать потенциальные возможности зерен из спеченных корундов компания "Винтертур" разработала соответствующую систему связки, которая способствует реализации свойств самозатачивания зерен. Применение зерен из электрокорунда высшего качества и спеченных корундов, благодаря работе круга в режиме самозатачивания, позволяет существенно повысить производительность обработки и стойкость круга (рис. 12), уменьшить температуру и силы резания, увеличить интервалы времени между правками круга.

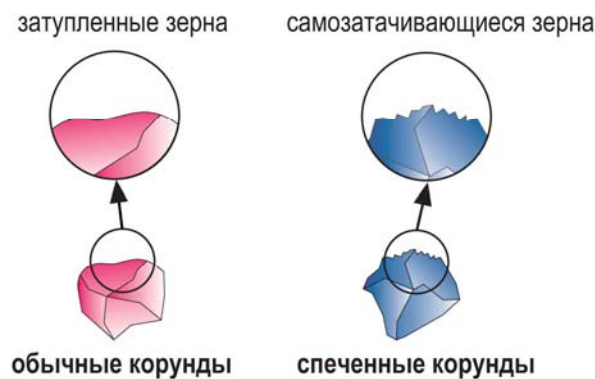


Рис. 11. Поверхности режущих зерен из обычных и спеченных корундов.

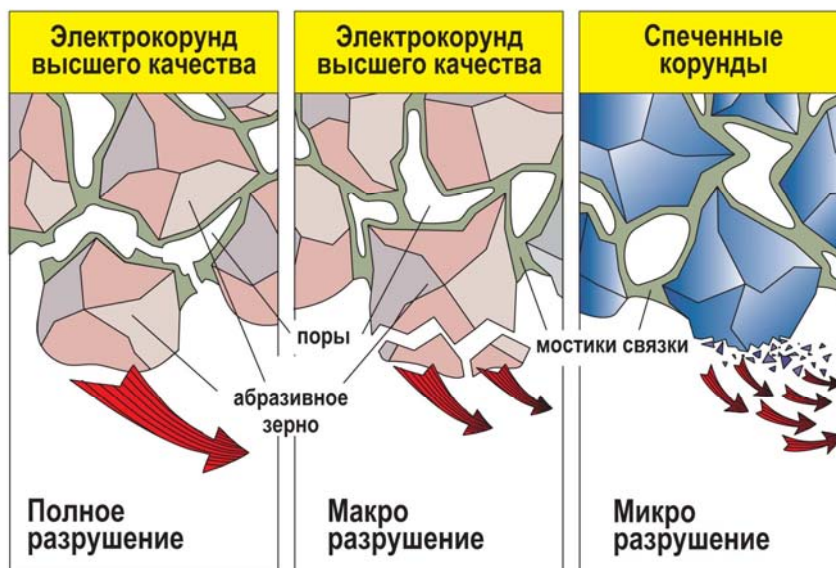


Рис. 12. Характер разрушения рабочей поверхности круга.

Экспериментально установлено, что с уменьшением глубины шлифования энергоёмкость обработки  $\sigma$  увеличивается, а уточнение  $\varepsilon$  уменьшается (рис. 13). Такая же закономерность вытекает из полученной выше зависимости

$$\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{дет}}{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot (\varepsilon - 1) = 1, \quad (10)$$

т.е. чем больше энергоёмкость обработки  $\sigma$ , тем меньше уточнение  $\varepsilon$ . Этим и объясняется высокая трудоёмкость достижения на практике повышенных показателей точности обработки за счет уменьшения глубины шлифования. Из этого также вытекает, что наиболее полное представление о физической сущности и технологических возможностях шлифования можно получить на основе анализа по зависимости (10) двух взаимосвязанных между собой параметров: энергоёмкости обработки и уточнения, которые определяют силовую напряженность шлифования в направлении действия тангенциальной и радиальной составляющих силы резания.

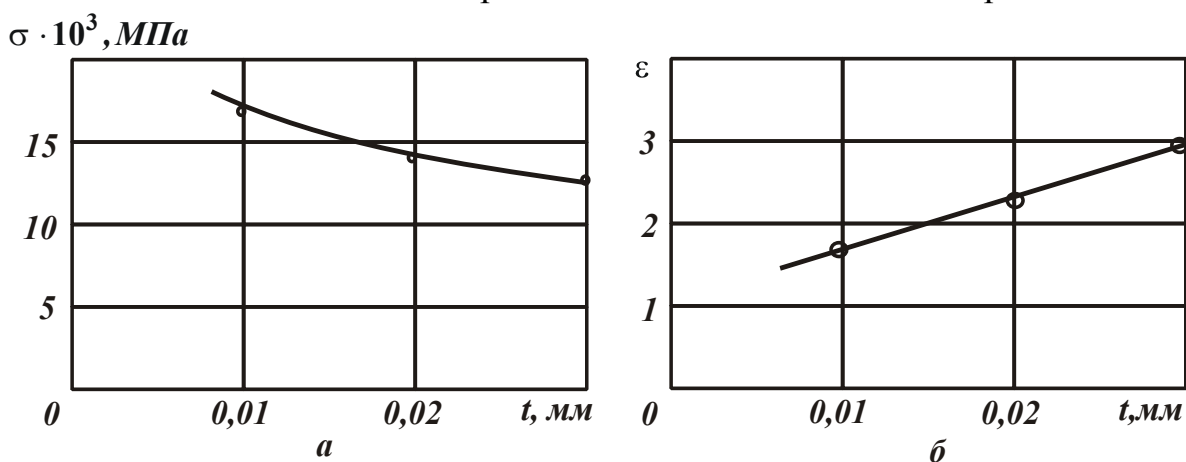


Рис. 13. Зависимости  $\sigma$  (а) и  $\varepsilon$  (б) от глубины шлифования  $t$ .

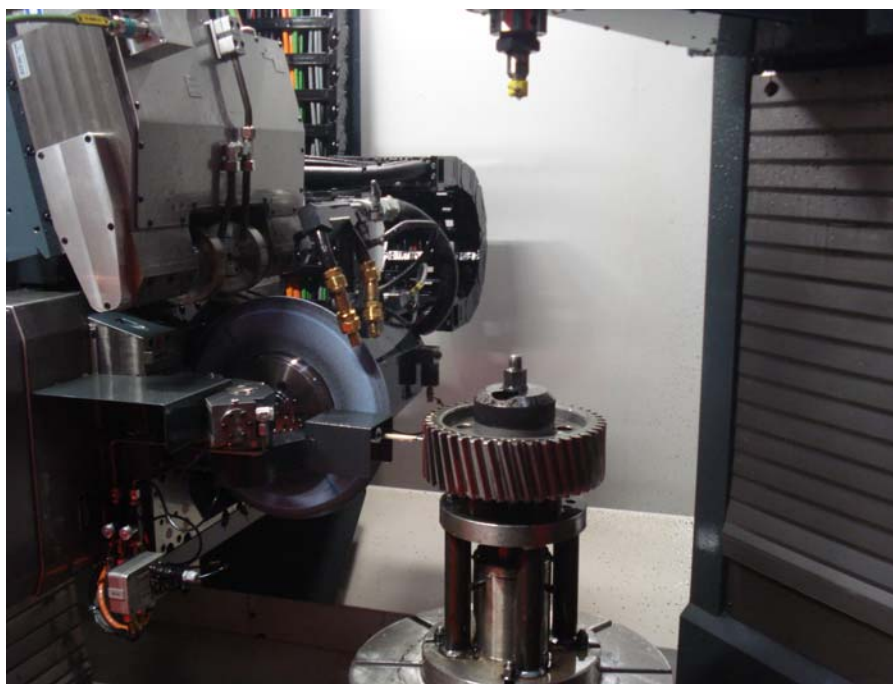


Рис. 14. Обработка на зубошлифовальном станке мод. HOFLER RAPID 1250.

Экспериментально установлено, что применение абразивного круга с двухсторонним коническим профилем типа 2П при зубошлифовании на указанных выше режимах резания позволяет стабильно обеспечить требуемые значения параметра шероховатости обработки  $R_a < 0,6$  мкм.

В работе обоснована эффективность

применения современной координатно-измерительной машины (КИМ) GLOBAL Perfomance 122210 производства итальянской фирмы DEA (концерн Hexagon) для измерения параметров точности обработки зубчатых колес [4,5]. Установлено, что при этом существенно сокращается время и повышается точность и стабильность измерений, снижается потребность в дополнительной контрольной оснастке, появляется возможность измерения тех размеров, которые ранее имеющимися техническими средствами не могли быть измерены.

Разработаны "Правила пользования протоколами КИМ для зубчатых передач", которые позволяют учесть разницу в данных между стандартом ISO и действующими ГОСТами, по которым разрабатывается заводская техническая документация. Установлено также, что, используя результаты измерений зубчатых колес с помощью координатно-измерительной машины, можно сократить сроки и повысить качество и надежность наладки зубошлифовального станка с целью обеспечения требований по точности обработки зубчатых колес. Это позволяет уменьшить количество проходов при окончательном шлифовании и выхаживании и соответственно снизить до 2-х раз трудоемкость обработки. Так установлено, что при обработке зубчатого колеса ( $m = 10$ ;  $z = 41$ ;  $\beta = 15^0$ ;  $B = 105$  мм) съем припуска величиной 0,4 мм может быть произведен за 3 черновых прохода, 1 чистовой проход и 1 проход при выхаживании. Обработка производится за 5 черновых проходов, 2 чистовых и 1–2 прохода при выхаживании.

Полученные в работе результаты исследований были также использованы для выбора оптимальных условий обработки при зубошлифовании на станке мод. NOFLER RAPID 1250 (рис. 14), обеспечивающим шлифование по методу профильного копирования за счет применения специального профильного абразивного круга. Разработанные эффективные операции зубошлифования зубчатых колес внедрены в основное производство ОАО ХМЗ "Свет шахтера". При этом гарантированно обеспечиваются требования по качеству, точности и шероховатости ( $R_a < 0,6$  мкм) обрабатываемых поверхностей зубчатых колес приводов шахтных конвейеров, что позволило повысить надежность и ресурс их работы до уровня мировых производителей аналогичной продукции.

**1. Список литературы:** 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 2. Новиков Ф.В. Теоретическое обоснование путей уменьшения температуры при шлифовании / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский, А.Н. Ковальчук, Е.И. Иванов // Вісн. НТУ"ХП". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2010. – № 25. – С. 83-91. 3. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып.12. – С.56-62. 4. Нежебовский В.В. Повышение эффективности технологии изготовления зубчатых передач / В.В. Нежебовский // Труды 15-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2009. – С. 274-277. 5. Ковальчук А.Н. Эффективность применения координатно-измерительной машины GLOBAL PERFOMANCE 122210 для измерения деталей зубчатых передач / А.Н. Ковальчук, В.В. Нежебовский // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 101. – С. 214-225.