

**ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ  
ВАНАДИЕВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ  
ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ  
ТЕКУЩЕЙ ЛИМИТИРОВАННОЙ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРУГА**

**Полтавец В.В.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Одной из основных областей применения алмазных шлифовальных кругов является обработка высокопрочных труднообрабатываемых инструментальных материалов: быстрорежущих сталей повышенной производительности и твердых сплавов. На операциях шлифования и заточки инструментов из этих материалов широко применяются алмазные шлифовальные круги на металлических связках, обеспечивающие снижение расхода дорогостоящих алмазов и высокую производительность обработки за счёт интенсификации силовых параметров процесса [1].

Несмотря на большое количество исследований в данной области и успешное решение ряда технических и научных задач, проблема высококачественной обработки инструментов алмазными кругами на металлических связках в полной мере на практике не решена [2]. Это обусловлено, в первую очередь, низкой стойкостью алмазных кругов на металлической связке при высокопроизводительной обработке из-за их быстрого затупления, засаливания и, как следствие, снижения во время шлифования эффективности работы круга. Наиболее ярко такое резкое снижение (можно сказать, катастрофическое) проявляется при обработке кругами на более прочных связках (например, типа М2-01), у которых практически отсутствует склонность к самозатачиванию. Таким образом, имеется противоречие между необходимостью обеспечить надежное закрепление алмазного зерна в связке (что позволяет интенсифицировать процесс) и одновременно оставить возможность самозатачивания круга (что ведет к стабилизации во времени его режущих свойств).

Эффективность работы шлифовального круга в настоящее время наиболее часто характеризуется коэффициентом шлифования, либо коэффициентом режущей способности [3]. Как отмечалось нами [4], ни коэффициент шлифования, ни коэффициент режущей способности не позволяют определить условия обработки, которые удовлетворяли бы техническим ограничениям по качеству обработанной поверхности и обеспечивали бы максимальную производительность процесса, и, соответственно, являются косвенными показателями, характеризующими режущие свойства круга для заданной совокупности факторов процесса шлифования. Вследствие этого в настоящее время ведется поиск показателей, которые бы непосредственно характеризовали режущую способность абразивно-алмазного инструмента с учётом динамики её изменения.

Целью данной работы является описание процесса алмазного шлифования ванадийсодержащих инструментальных сталей с использованием нового понятия «текущая лимитированная режущая способность круга».

В связи с тем, что указанное понятие введено с участием автора в работе [5] и не является общеупотребительным в настоящее время, есть необходимость привести его определение. Текущая лимитированная режущая способность алмазного круга – это объем обрабатываемого материала, удаляемый с заготовки рабочей поверхностью круга (РПК) за единицу времени при условии, что все требования, налагаемые на режим обработки техническими ограничениями, удовлетворены.

В качестве лимитирующего технического ограничения при обработке быстрорежущих сталей и твердых сплавов в основном выступают показатели качества обработанной поверхности или же показатели, характеризующие теплонапряженность процесса.

Текущая лимитированная режущая способность круга зависит от сочетания параметров РПК (зернистости, относительной концентрации алмазов, вида связки и ее механических характеристик, ориентации зерен и степени их выступления из связки, разновысотности зерен) и элементов режима резания. Вследствие непостоянства параметров РПК во время шлифования при любой схеме обработки текущая лимитированная режущая способность круга в процессе обработки постоянно изменяется.

Изменение текущей режущей способности круга явным образом проявляется при упругой схеме обработки в виде изменения в ходе процесса фактической глубины резания при условии постоянства остальных элементов режима.

Рассмотрим изменение текущей лимитированной режущей способности круга при плоском врезном шлифовании образцов из закалённой ванадийсодержащей быстрорежущей стали Р6М5Ф3 по упругой схеме с постоянной силой поджима образца к кругу алмазным шлифовальным кругом 2720-0128 ГОСТ 16167-82 АС6-100/80-4-М2-01. Обработка велась на плоскошлифовальном станке модели ЗГ71 на режимах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Режимы резания при плоском врезном алмазном шлифовании образцов из стали Р6М5Ф3 по упругой схеме кругом 2720-0128 ГОСТ 16167-82 АС6-100/80-4-М2-01

Скорость круга $V_k$ , м/с	Скорость детали $V_d$ , м/мин	Поперечная подача $S_n$ , мм/ход	Глубина резания $t_\phi$ , мкм	Сила поджима образца к кругу $P_n$ , Н
35	6	0	<i>var</i>	80

Шлифование по упругой схеме с постоянной силой поджима образца к кругу  $P_n$  выполняли при установке экспериментального образца в специальное приспособление, которое закрепляется на магнитном столе плоскошлифовального станка. Основной особенностью данного приспособления является возможность реализации обработки по упругой схеме с постоянной силой  $P_n$  с сохранением кинематики плоского шлифования по жёсткой схеме.

Допустимое значение параметра обработки  $P_n$  было найдено исходя из критической температуры  $T_{кр} = 815$  К, выше которой происходят фазово-структурные изменения в обрабатываемом материале [6]. Текущую лимитированную режущую способность круга определяли по изменению после заданных интервалов времени шлифования (1, 5, 10, 15, 30, 45 и 60 мин) высоты экспериментального образца, имеющего размеры обрабатываемой поверхности 196×15 мм.

Измерение высоты образца  $h_o$  до и после шлифования осуществляли с помощью индикатора часового типа 1 с ценой деления 0,001 мм, который устанавливали на кожухе шлифовального круга 2 (рис. 1). Замеры высоты выполнялись в трёх точках по длине образца 3. При этом образец в приспособлении для упругого шлифования 4 закреплялся неподвижно. Установка базы индикатора перед измерением производилась по блоку плоскопараллельных концевых мер длины 5, помещаемому на шлифованную поверхность 6 корпуса приспособления, в котором был закреплён обрабатываемый образец (рис. 2).

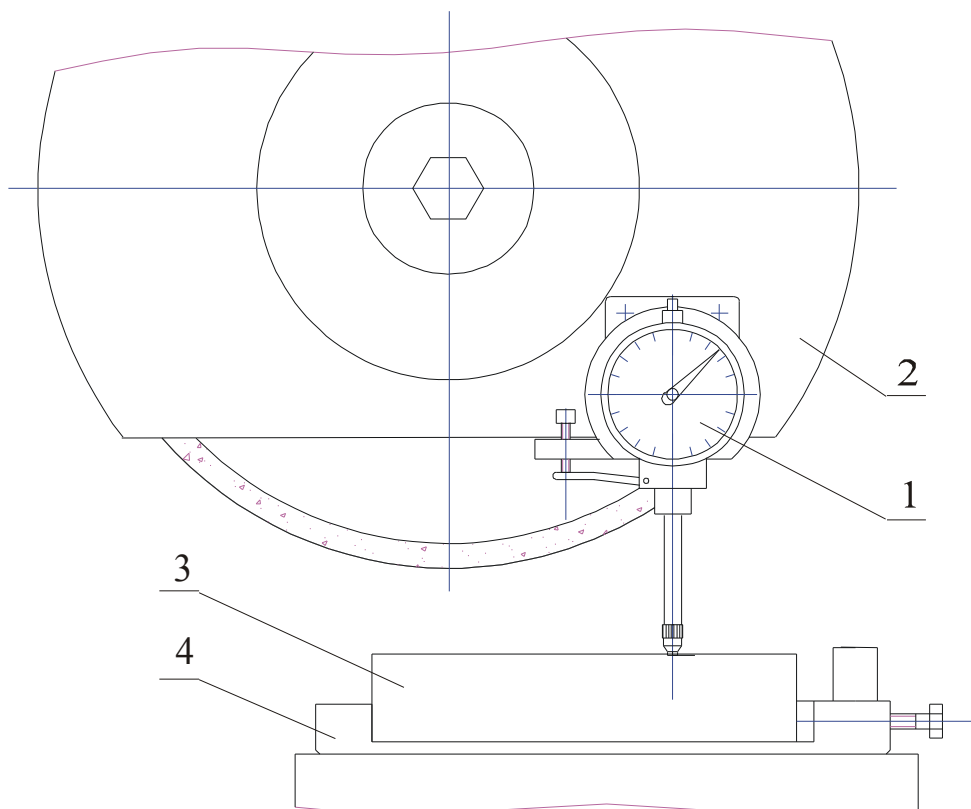


Рис. 1. Схема измерения высоты образца до и после шлифования

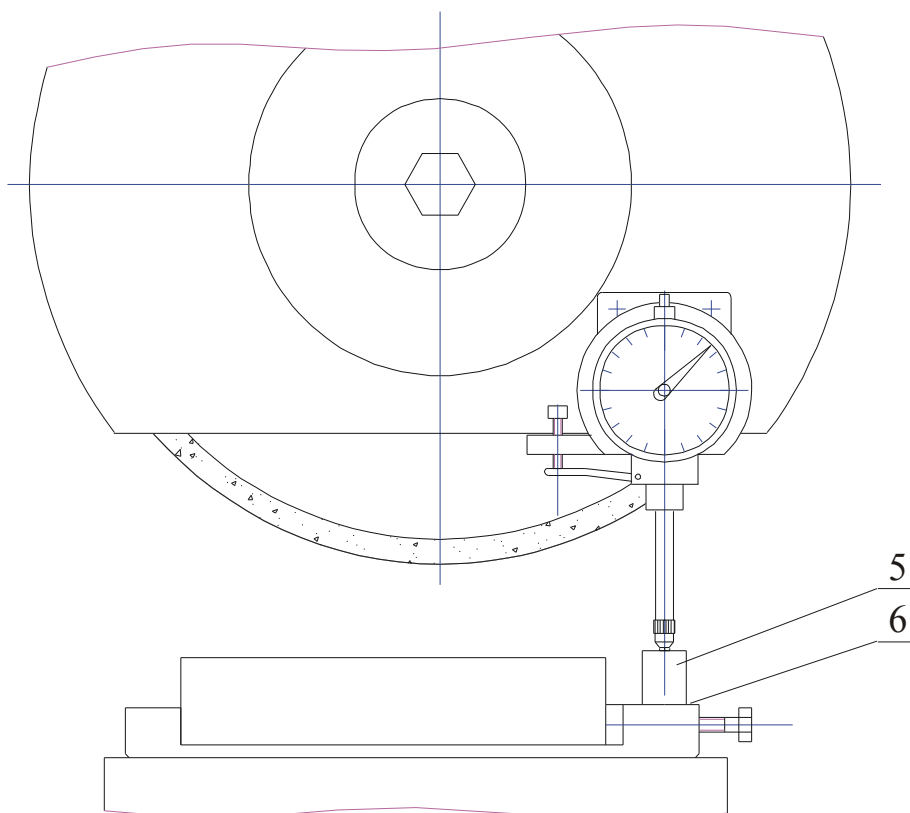


Рис. 2. Схема установки базы индикатора перед измерением высоты образца

Среднюю высоту слоя сошлифованного материала  $\Delta h$  определяли по формуле

$$\overline{\Delta h} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta h_i}{m},$$

где  $\Delta h_i$  – высота сошлифованного слоя в  $i$ -й точке образца;

$m$  – количество точек, в которых проводились измерения.

Для полученных экспериментальных выборок величины  $\Delta h$  определялись следующие статистические параметры:

– среднее квадратическое отклонение высоты слоя сошлифованного материала

$$S_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta h_i - \overline{\Delta h})^2}{m - 1}};$$

– среднее квадратическое отклонение средней высоты слоя сошлифованного материала

$$S_{\overline{\Delta h}} = \frac{S_{\Delta h}}{\sqrt{n}},$$

где  $n$  – количество параллельных опытов по измерению  $\Delta h$ .

Объём сошлифованного за время  $\tau$  материала рассчитывали по формуле

$$V_m = l_o \cdot b_o \cdot \overline{\Delta h}, \quad (1)$$

где  $l_o$ ,  $b_o$  – соответственно длина и ширина обрабатываемой поверхности образца,  $l_o = 196$  мм,  $b_o = 15$  мм.

Текущая лимитированная режущая способность круга определялась как отношение объёма сошлифованного материала  $V_m$  ко времени, за которое он был удалён:

$$Q = V_m / \tau. \quad (2)$$

В соответствии с выражениями (1) и (2) средние квадратические отклонения средних значений объёма сошлифованного материала и текущей лимитированной режущей способности круга рассчитывали по аналогичным формулам

$$S_{\overline{V}_m} = l_o \cdot b_o \cdot S_{\overline{\Delta h}}; \quad (3)$$

$$S_{\overline{Q}} = \frac{l_o \cdot b_o \cdot S_{\overline{\Delta h}}}{\tau}. \quad (4)$$

Вычисленные по формулам (3) и (4) величины использовали для определения доверительных интервалов для объёма сошлифованного материала  $V_m$  и текущей лимитированной режущей способности круга  $Q$ .

Закономерность изменения текущей лимитированной режущей способности круга  $Q$  во времени обработки  $\tau$  (рис. 3) аппроксимировали экспоненциальной зависимостью вида

$$Q(\tau) = Q_{ycm} + \Delta Q \cdot \exp(-\beta \tau), \quad (5)$$

где  $Q_{ycm}$  – установившаяся режущая способность круга, мм<sup>3</sup>/мин;

$\Delta Q = Q_0 - Q_{ycm}$  – амплитуда снижения текущей лимитированной режущей способности круга, мм<sup>3</sup>/мин;

$Q_0$  – исходная текущая лимитированная режущая способность круга с рельефом РПК, параметры которого сформированы после электроэрозионной правки круга, мм<sup>3</sup>/мин;

$\beta$  – эмпирический коэффициент.

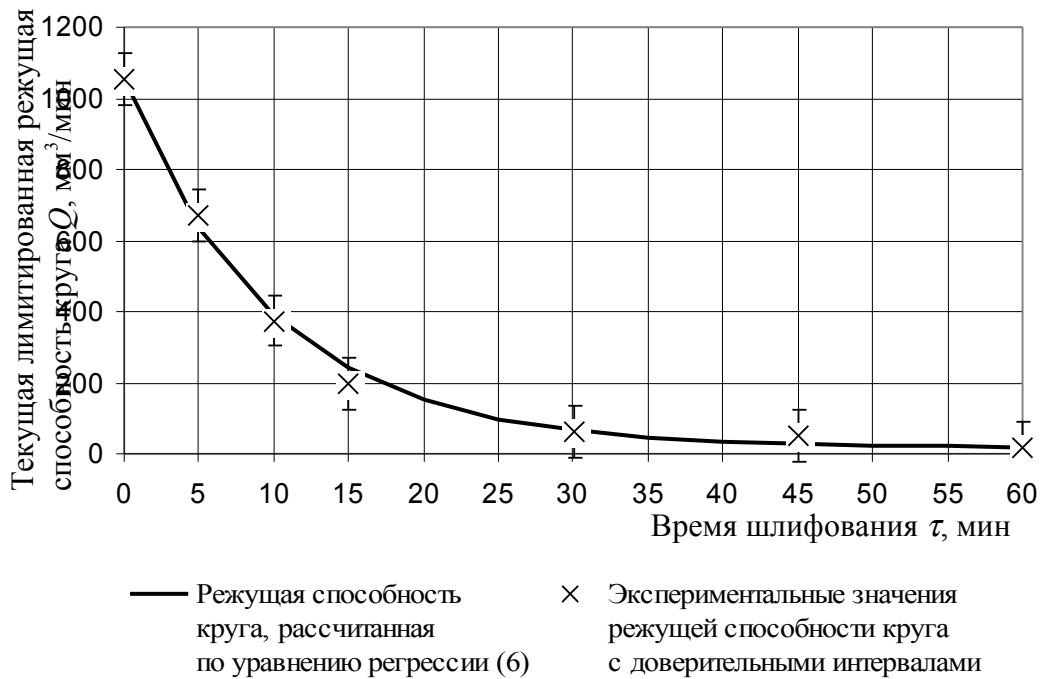


Рис. 3. Изменение текущей лимитированной режущей способности круга 2720-0128 ГОСТ 16167-82 АС6-100/80-4-М2-01 при плоском врезном шлифовании ванадиевой быстрорежущей стали Р6М5Ф3

Установившееся значение текущей режущей способности круга  $Q_{уст}$  определялось в момент времени обработки, когда разность между измеренными последовательно средними значениями высоты слоя сошлифованного материала стала соизмеримой с погрешностью шкалы индикатора часового типа. За исходную  $Q_0$  была принята текущая режущая способность круга в первую минуту шлифования, когда значения параметров РПК ещё не претерпели существенных изменений по сравнению с их значениями непосредственно после правки круга.

Таким образом, после определения методом наименьших квадратов значения эмпирического коэффициента  $\beta$  уравнение (5), описывающее изменение текущей лимитированной режущей способности круга во времени при шлифовании быстрорежущей стали Р6М5Ф3, приняло вид (см. рис. 3):

$$Q = 17 + 1035 \cdot \exp(-0,102 \tau), \quad (6)$$

График зависимости текущей лимитированной режущей способности круга от времени шлифования, построенный по уравнению (6), характеризует возможность рельефа круга удалять материал на предельных в данный конкретный момент времени режимах резания при обязательном условии предотвращения фазово-структурных изменений в поверхностном слое обрабатываемого материала. Это условие для рассматриваемого процесса алмазного шлифования ванадиевой быстрорежущей стали Р6М5Ф3 является лимитирующим техническим ограничением.

Аналогичным путем были получены зависимости текущей лимитированной режущей способности круга от времени шлифования при обработке по упругой схеме образцов из стали Р6М5Ф3 кругами 2720-0128 ГОСТ 16167-82 других зернистостей. Соответствующие уравнения имеют вид:  
для круга АС6-160/125-4-М2-01

$$Q = 20 + 1241 \cdot \exp(-0,082 \tau), \quad (7)$$

для круга АС6-250/200-4-М2-01

$$Q = 28 + 1411 \cdot \exp(-0,068 \tau). \quad (8)$$

Практическая ценность уравнений (6)-(8) состоит в том, что по ним путём деления обеих частей уравнений на число ходов стола станка  $n_{cm}$  в минуту и площадь обрабатываемой поверхности образца  $F = l_o \times b_o$  легко находятся зависимости фактической глубины резания от времени шлифования  $t_\phi = f(\tau)$ . Определенные по таким зависимостям значения  $t_\phi$  в конкретный момент времени обработки являются допустимой для этого момента времени по критерию текущей лимитированной режущей способности алмазного круга величиной подачи на врезание. Соответствующие значения подачи на врезание могут быть использованы для программирования обработки на плоскошлифовальных станках с ЧПУ [4, 5].

#### **Выводы:**

1. Экспериментальным способом получены зависимости текущей лимитированной режущей способности круга от времени шлифования при обработке по упругой схеме, которые характеризуют мгновенную способность рельефа круга удалять обрабатываемый материал на предельных для данного момента времени режимах при соблюдении требований лимитирующего технического ограничения.

2. Эти зависимости могут быть использованы как элемент математического обеспечения САПР управляющих программ для шлифовальных станков с ЧПУ.

**Список литературы:** 1. Попов С.А., Малевский Н.В., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения/ Под общ. ред. Ф.В.Новикова и А.В.Якимова В 10 т. – Т. 4 «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 3. Основы алмазного шлифования/ Семко М.Ф., Грабченко А.И. Раб А.Ф. и др. – Киев: Техніка, 1978. –192 с. 4. Матюха П.Г., Полтавец В.В. Режущая способность рабочей поверхности круга как ограничивающий параметр производительности шлифования/ Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2003. – Вип. 13. – С. 159-164. 5. Матюха П.Г., Стрелков В.Б., Полтавец В.В. Определение режимов плоского шлифования твердых сплавов с использованием нового критерия о текущей лимитированной режущей способности круга/ Сверхтвердые материалы. Научно-теоретич. журнал. – Киев: 2004. – № 3. – С. 67-73. 6. Матюха П.Г., Полтавец В.В. Изменение температуры поверхности резания при различных способах шлифования по упругой схеме быстрорежущей стали Р6М5Ф3// Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. статей/ Пред. редсовета Г.А.Хает. – Краматорск: ДГМА, 1999. – Вып. 9. – С. 191-197.

ОПИС ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ  
ВАНАДІЄВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

ЗА ПРУЖНОЮ СХЕМОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОНЯТТЯ  
ПОТОЧНОЇ ЛІМІТОВАНОЇ РІЗАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КРУГА

Полтавець В.В.

Процес плоского врізного алмазного шліфування ванадієвої швидкорізальної сталі Р6-М5Ф3 за пружною схемою описаний з використанням нового поняття «поточна лімітована різальна здатність круга», яке характеризує миттєву здатність рельєфу круга видаляти оброблюваний матеріал на гранично допустимих режимах різання.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ  
ВАНАДИЕВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ  
ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ  
ТЕКУЩЕЙ ЛИМИТИРОВАННОЙ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРУГА

Полтавец В.В.

Процесс плоского врезного алмазного шлифования ванадиевой быстрорежущей стали Р6М5Ф3 по упругой схеме описан с использованием нового понятия «текущая лимитированная режущая способность круга», которое характеризует мгновенную способность рельефа круга удалять обрабатываемый материал на предельно допустимых режимах резания.

EXPLANATION OF PROCESS OF DIAMOND GRINDING OF VANADIUM  
HIGH-SPEED STEELS BY ELASTIC SETUP WITH ADOPTION  
OF CONCEPT OF THE FLOWING LIMITED WHEEL CUTTING CAPACITY

Poltavets V.V.

The process of flat infeed diamond grinding of vanadium high-speed steel Р6М5Ф3 by elastic setup is explained with adoption of new concept "the flowing limited wheel cutting capacity", which characterizes instantaneous ability of wheel relief to remove the material being machined with ultimately acceptable cutting conditions.

Рецензент: д.т.н., проф. Калафатова Л.П.