

УДК 621.923.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ШЛИФОВАНИЯ АБРАЗИВНЫМИ ЛЕНТАМИ  
С САМОЗАТАЧИВАЮЩИМСЯ ЗЕРНОМ**

**Б.Н. Хватов<sup>1</sup>, Д.В. Зубков<sup>2</sup>, А.А. Родина<sup>1</sup>**

*Кафедра «Технология машиностроения, металлорежущие станки  
и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1); ant.rodina1209@yandex.ru;  
ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова», г. Тамбов (2)*

*Представлена членом редколлегии профессором Ю.В. Воробьевым*

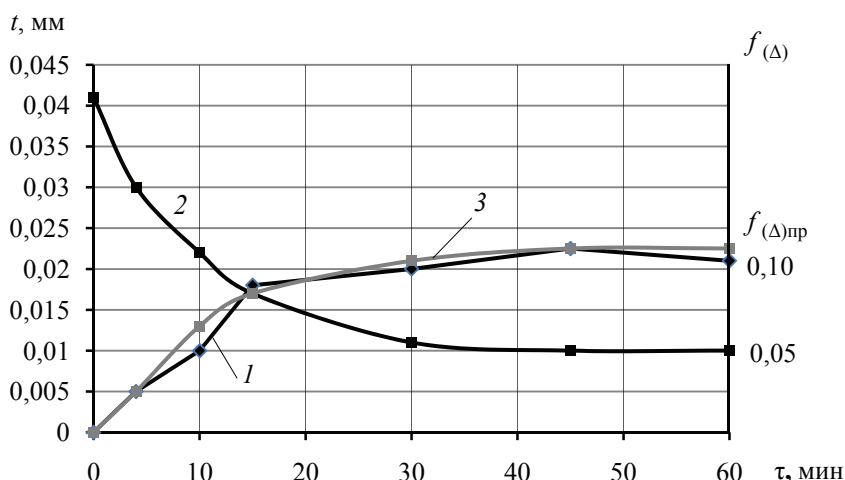
**Ключевые слова и фразы:** абразивная лента; производительность; само-  
затачивающееся зерно; шероховатость поверхности; шлифование.

**Аннотация:** Приведены результаты лабораторных и производственных ис-  
следований производительности и шероховатости поверхности при шлифовании  
абразивными лентами с самозатачивающимся зерном ведущих брендов в области  
шлифованных материалов и инструментов компаний VSM AG (Германия) и 3M  
(США). Полученные результаты позволили выстроить технологический ряд при-  
меняемых лент на производственном оборудовании ОАО «Тамбовский завод  
«Комсомолец» им. Н.С. Артемова» по обеспечению шероховатости при шлифова-  
нии заготовок для емкостного оборудования пищевой промышленности из листо-  
вого проката до технически регламентируемого параметра  $Ra = 0,32$  мкм.

---

При разработке процессов и оборудования для ленточного шлифования  
крупных поверхностей, площадь обработки которых достигает нескольких десят-  
ков квадратных метров, важным является изыскание условий, позволяющих обес-  
печить высокую производительность обработки в пределах запаса прочности лен-  
ты и виброустойчивости оборудования.

Существенным фактором в ограничении производительности шлифования  
абразивными лентами является прогрессирующее их притупление от времени  
шлифования (рис. 1, кривая 2) [1]. Относительное притупление инструмента, оп-  
ределяемое как отношение суммарной величины площадок износа абразивных  
зерен к площади, на которой они расположены, может достаточно просто контро-  
лироваться в производственных условиях, например по оттиску рабочей поверх-  
ности инструмента. На рисунке 1 приведен график изменения относительного  
притупления ленты 14А50П (кривая 1), полученный при шлифовании стали  
06Х12НЗД с постоянным усилием прижима  $P_y = 100$  Н путем непосредственного  
измерения площадок износа одной и той же группы зерен ( $N_{\text{реж}} = 250$  зерен) на  
микроскопе УИМ-21. Приведенная на рисунке 1 кривая 2 графика изменения глу-  
бины съема при ленточном шлифовании показывает, как по достижении опреде-  
ленного времени  $\tau = T_{\text{ф}}$ , глубина съема достигает своего минимального значения,  
изменение которого во времени становится несущественным, и дальнейший про-



**Рис. 1.** Изменение относительного притупления ленты 14А50П (1 – экспериментальное; 3 – расчетное) и глубины шлифования (2) в процессе обработки при шлифовании стали 06Х12Н3Д с роликом твердостью HS 50 по Шору ( $P_y = 2,5$  Н/мм;  $v_n = 8$  м/мин)

цесс шлифования является неэффективным. Значение времени  $\tau = T_\phi$  представляет собой физический период стойкости ленты и является индивидуальным показателем для контактирующей пары «лента – ролик» с обрабатываемым материалом.

Как видно из рисунка 1, относительное притупление ленты стремится в своем пределе к некоторой установившейся величине  $f_{(\Delta)пр}$ , изменение которой от времени обработки становится пренебрежимо мало, то есть  $f_{(\Delta)} < f_{(\Delta)пр}$ , где  $f_{(\Delta)пр}$  – предельно допустимое установившееся притупление ленты.

Значения величины  $f_{(\Delta)пр}$  для разных лент можно установить аналитически. Исходя из прочности закрепления зерна в связке инструмента, профессор С.Н. Корчак [2] считает, что предельно допустимая величина размерного износа абразивных зерен  $\Delta$  должна быть не более величины их выступания над связкой  $\Delta = \frac{1}{3} d_3$ . Принимая форму зерна в виде эллипсоида с отношением осей 0,7:1,0 [2], можно показать, что теоретически возможная величина притупления для однослойных лент с плотностью нанесения абразивных зерен, соответствующей расстоянию между ними  $l_\phi = d_3$ , составит  $f_{(\Delta)пр} = 0,7$ . В реальных условиях значения  $f_{(\Delta)пр}$  намного меньше.

Знание величины предельного притупления ленты дает возможность математически выразить зависимость ее относительного притупления от времени обработки за период стойкости в виде показательной функции

$$f_{(\Delta)} = f_{(\Delta)пр} (1 - e^{-\alpha\tau}), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – показатель, характеризующий интенсивность износа материала абразивного покрытия ленты;  $\tau$  – время шлифования, мин.

На рисунке 1 такая зависимость для ленты 14А50П с экспериментально определенными значениями  $f_{(\Delta)пр} = 0,11$  и  $\alpha = -0,1$  имеет вид

$$f_{(\Delta)} = 0,11 (1 - e^{-\alpha\tau}) \quad (2)$$

и представлена кривой 3.

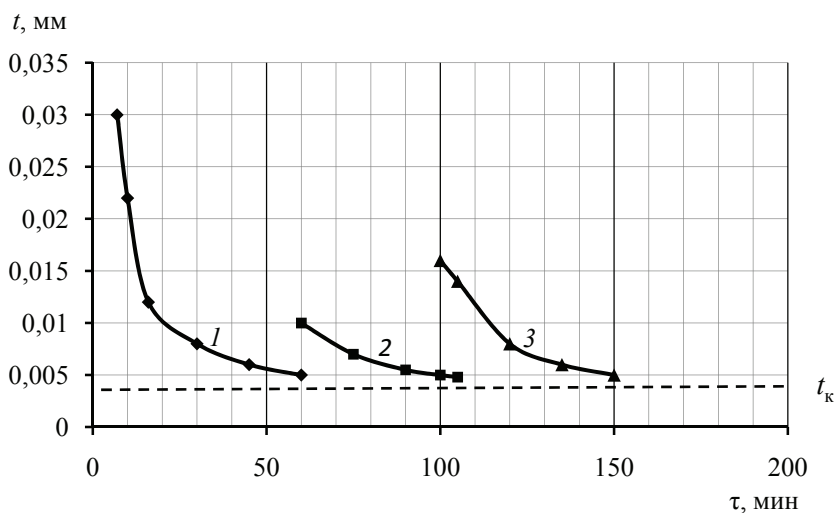
Методов правки абразивного покрытия ленты с однослойной насыпкой зерен на настоящее время не разработано, поэтому важным является изыскание условий и режимов шлифования, позволяющих продлить время активной режущей способности ленты.

Применение рифленых и более твердых роликов может являться в некоторой степени средством восстановления режущей способности изношенных лент. На рисунке 2 показано, как замена гладкого ролика (HS 50 по Шору) на рифленый с соотношением  $\Pi = a/b = 2$ , где  $a$  и  $b$  – ширина канавки и выступа рифлений ролика соответственно, дает возможность повысить съём металла изношенной лентой 14A25П и довести период ее стойкости до 100 мин; замена ролика в конце обработки на более твердый (HS 90 по Шору) позволило увеличить срок службы ленты до 150 мин, то есть в 2,5 раза по сравнению с первоначальным. Однако из-за значительных затрат времени на смену контактных роликов этот прием не дает значительного выигрыша в производительном шлифовании крупных поверхностей.

Существенным достижением в области разработки и производства абразивного инструмента явился выбор тенденции создания самозатачивающегося зерна [3].

На рисунке 3 показано семейство абразивного материала, разработанного одним из ведущих брендов в области шлифовальных материалов и инструмента, фирмы VSM AG (Германия) [4–6].

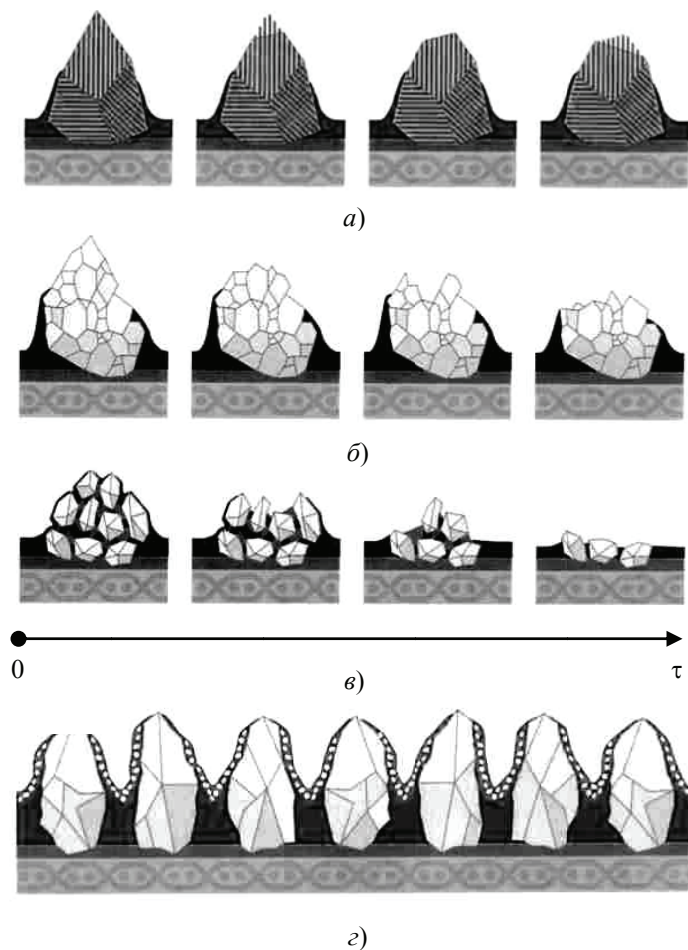
Зерно электрокорунда циркониевого ZA (рис. 3, а), запатентованного в 1972 г. фирмой Norton (США) под названием NZ Alundum [3], состоит из двуоксида циркония  $ZrO_2$  (до 40 %) и оксида алюминия  $Al_2O_3$ . Этот материал, получаемый спеканием порошка зернистостью до 1 мкм, а не выплавкой в электропечах, как обычно, образуют конгломераты зерен с пластинчатой структурой с большим количеством режущих кромок. Во время процесса шлифования сначала изнашивается более мягкий  $ZrO_2$ , потом обламывается хрупкий  $Al_2O_3$ . Таким образом, на зерне постоянно образуются новые режущие кромки. Большая гамма абразивных лент с циркониевым электрокорундом фирмы 3М (США) нашло широкое приме-



**Рис. 2. Изменение режущей способности ленты 14A25П в процессе обработки от твердости и степени разреженности рифлений контактного ролика:**

1 – ролик твердостью HS 50 по Шору,  $\Pi = 1$ ; 2 – тот же ролик,  $\Pi = 2$ ;

3 – ролик твердостью HS 90 по Шору,  $\Pi = 2$



**Рис. 3. Принципы самозатачивания зерна абразивных лент VSM:**  
*a* – циркониевый электрокорунд (ZA); *б* – керамическое зерно (CER);  
*в* – компактное зерно (гранулят) (COM);  
*г* – зерно с активным покрытием (TOP SIZE)

нение в отечественной промышленности при шлифовании крупных поверхностей в гидротурбостроении, судостроении, при шлифовании корпусного оборудования в пищевой и нефтегазовой промышленности.

На рисунке 4 приведены графики изменения удельного съема металла во времени при шлифовании гидротурбинной стали 06X12H3Д лентами из циркониевого электрокорунда (кривые 1, 3) и лучшими на то время (1980-е гг.) лентами производства «Запорожского абразивного комбината» (Украина), изготовляемых по лицензии фирмы Klingspor (ФРГ) (кривая 2) [7].

Как видно из приведенного рисунка, производительность съема металла при шлифовании лентой Z36 (соответствует зернистости 50 по ГОСТ 3647–81) (кривая 1) при равных усилиях шлифования ( $P_y = 1000$  Н) в среднем в 4 раза выше, чем при шлифовании лентой аналогичной зернистости P40, производимой по лицензии фирмы Klingspor (кривая 2). Характерным при этом является постоянное возобновление режущих свойств лент Z36 во времени шлифования, о чем свидетельствуют большие амплитуды изменения производительности съема на графике 1 по сравнению с пологим его характером на графике 2 и что указывает на работу

зерен ленты в режиме самозатачивания. Особенно становится заметным режим самозатачивания с соответствующим увеличением производительности съема при увеличении прижима ленты  $P_y$  с 1000 до 1500 Н (кривая 3).

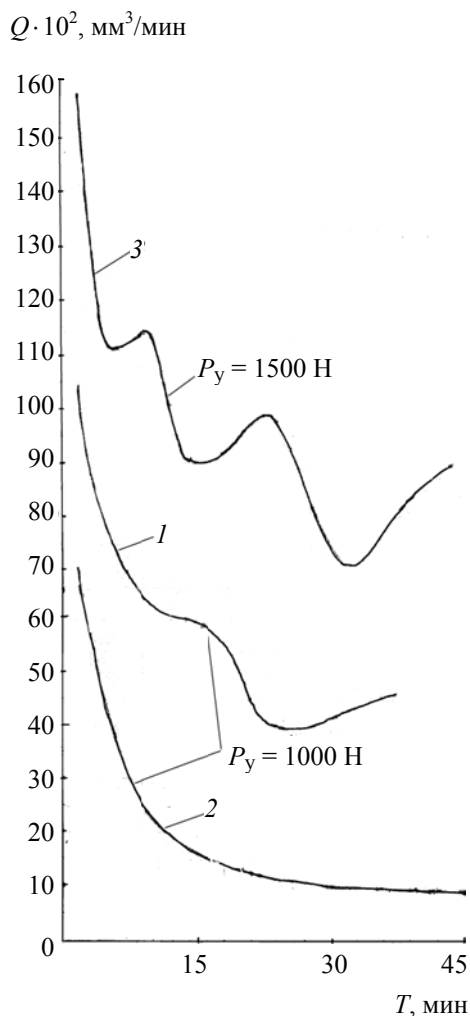
Принцип самозатачивания керамического зерна CER (см. рис. 3, б) заключается в чрезвычайно высокой твердости и хрупкости связей кристаллитов в основе конгломерата керамического зерна. При притупления зерна его составляющие под действием возросших сил резания разрушаются, обнажая новые режущие кромки.

В основе шлифовальных материалов серии «компактное зерно» (COM) (см. рис. 3, в) находится гранулят, который благодаря своей особой структуре всегда выглядит крупнее, чем обычные абразивные материалы. Каждое зерно гранулята является твердой единицей, в которой соединены между собой корунд  $Al_2O_3$  или карбид кремния SiC. Под действием сил резания, возникающих при шлифовании, затупившиеся абразивные зерна вырываются из этой связки и в результате этого освобождаются новые зерна с «острыми» вершинами.

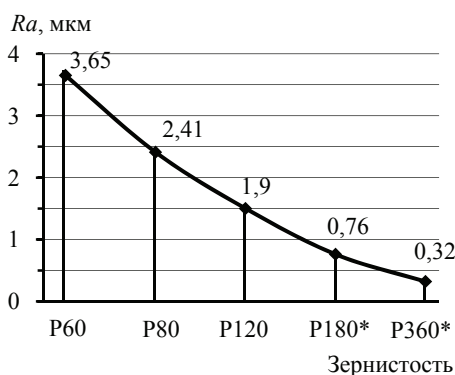
Дополнительное покрытие базового шлифовального материала поверхностно-активным слоем (продукция серии TOP SIZE, см. рис. 3, г) позволяет многократно повысить производительность съема материала при шлифовании нержавеющей и жаропрочных сталей при значительном снижении температуры шлифования, что позволяет избежать структурных изменений в металле поверхностного слоя деталей.

На рисунке 5 показан график пооперационного снижения шероховатости поверхности при шлифовании лентами VSM серии «компактное зерно» (COM) эллипсоидных днищ пищевых резервуаров на производственном оборудовании ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова».

Как видно из приведенного графика, пооперационное снижение зернистости используемых лент с P60, P80 до P120 (зернистость, соответственно, 32, 20, 10 по ГОСТ 3647–81) приводит к снижению исходной шероховатости  $Ra = 6,3$  мкм до  $Ra = 3,65$  мкм после первого прохода (по среднему значению),  $Ra = 2,41$  мкм после второго прохода и  $Ra = 1,9$  мкм после третьего прохода шлифования. Требуемый уровень шероховатости по техническим условиям на изготовление изделия  $Ra = 0,32$  мкм достигается дополнительными двумя проходами лентами из абразивосодержащего полотна P180 и P360 (зернистости 8 и M40 по ГОСТ 3647–81) производства 3М (США).



**Рис. 4.** Изменение производительности съема металла при шлифовании стали 06Х12НЗД лентами из циркониевого электрокорунда (1, 3) и электрокорунда обыкновенного (2) [7]



**Рис. 5. Пооперационное снижение шероховатости поверхности при шлифовании лентами с самозатачивающимся зерном фирмы VSM**  
 (\* – в составе абразивосодержащего полотна)

Таким образом, резюмируя результаты проведенных исследований производительности и качества обработки лентами с самозатачивающимся абразивным зерном, можно отметить следующие преимущества этого материала:

- высокая и равномерная производительность съема материала;
- непрерывное самозатачивание;
- длительный срок службы ленты;
- равномерная и стабильная шероховатость поверхности на протяжении всего срока службы ленты;
- низкая температура шлифования;
- менее частая смена лент при обработке.

Выбор приоритета из приведенных преимуществ определяется предприятием потребителем исходя из цены затрат и качества обработки в каждом конкретном случае.

#### Список литературы

1. Хватов, Б.Н. Анализ механики ленточного шлифования / Б.Н. Хватов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 1996. – Т. 2, №4. – С.454–461.
2. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак – М. : Машиностроение, 1974. – 278 с.
3. Эриксон, Л.Е. Семейство абразивных материалов на основе двуокиси циркония / Л.Е., Эриксон, Д.Дж. Беннетт // Проспект фирмы NORTON (США). – М., 1990. – С. 3.
4. Высокотехнологичные шлифовальные материалы VSM. Самозатачивающаяся продукция на основе корунда циркония // Проспект фирмы VSM / Фирма ГЕРТНЕР Сервис ГмбХ РОССИЯ. – М., 2011. – С. 4.
5. Высокотехнологичные шлифовальные материалы VSM. Продукция на основе самозатачивающегося компактного зерна // Там же. – С. 4.
6. Высокотехнологичные шлифовальные материалы VSM. Применение для обработки металла // Там же. – С. 4.
7. Соколова, Л.С. Шлифование абразивными лентами с постоянной силой прижима / Л.С. Соколова. – М. : Компания Спутник, 2005. – 146 с.

### Research into Grinding Rate of Abrasive Belt with Self-Sharpening Grain

B.N. Khvatov<sup>1</sup>, D.V. Zubkov<sup>2</sup>, A.A. Rodina<sup>1</sup>

Department “Mechanical Engineering Technology,  
 Metal Cutting Machines and Tools”, TSTU (1); ant.rodina1209@yandex.ru;  
 ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец»» named after N.S. Artyomov», Tambov (2)

**Key words and phrases:** abrasive belt; grinding; performance; self-sharpening grain; surface roughness.

**Abstract:** The findings of laboratory and industrial studies of grinding rate of abrasive belt with self-sharpening grain of leading brands specializing in grinding materials and tools including VSM AG (Germany), 3M (USA) have been described. The obtained results enabled to rate the belts applied in production facilities of OAO «Tambov plant “Komsomolets” named after N.S. Artyomov» to ensure rough grinding of work pieces for food storage equipment of sheet metal to the technically regulated parameters  $Ra = 0,32$  mkm.

---

### **Forschung der Produktivität des Schleifens von den Schleifbanden mit dem selbstabschliffenden Korn**

**Zusammenfassung:** Es sind die Ergebnisse der Labor- und Produktionsuntersuchungen der Produktivität und der Unebenheit der Oberfläche beim Schleifen von den Schleifbanden mit dem selbstabschliffenden Korn der führenden Handelsmarken auf dem Gebiet der geschliffenen Materialien und der Instrumente der Firmen VSM AG (Deutschland) und 3M (USA) angeführt. Die bekommenen Ergebnisse haben zugelassen, die technologische Reihe der verwendeten Bande auf der Produktionsausrüstung der OAG “Das Werk “Komsomolez” des Nahmens N.S. Artjomow Tambow” nach der Versorgung der Unebenheit beim Schleifen der Ausgangsmaterialie für die kapazitive Ausrüstung der Nahrungsproduktion aus dem Blattverleih bis zum technisch reglementierten Parameter  $Ra = 0,32$  mkm aufzubauen.

---

### **Etude de la productivité du polissage par les bandes abrasives à polir avec un grain auto-taillant**

**Résumé:** Sont cités les résultats des études de laboratoire et d’industrie de la productivité et de la rugosité de la surface lors du polissage par les bandes abrasives à polir avec un grain auto-taillant des grandes firmes du secteur VSM AG (Allemagne), 3M (USA). Les résultats reçus ont permis de construire une série technologique des bandes appliquées de l’équipement industriel de la SARL «Usine de Tambov “Komsomolets” qui porte le nom de N.S. Artemov» pour l’assurance de la rugosité lors du polissage des ébauches pour l’équipement capacitif de l’industrie alimentaire à partir du tôle jusqu’au paramètre technique réglementé  $Ra = 0,32$  mkm

---

**Авторы:** *Хватов Борис Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Зубков Дмитрий Владимирович* – главный технолог, ОАО «Тамбовский завод “Комсомолец” им. Н.С. Артемова», г. Тамбов; *Родина Антонина Александровна* – ассистент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Ванин Василий Агафонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---