



Ull-Ukrainian Publik Organization Association of  
Technologists and Mechanical Engineers of Ukraine  
Georgian Technical University  
V.N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine  
Academy of Technological Sciences of Ukraine  
Ukrainian State University of Railway transport  
SPE "REMMASH" Ltd  
SPE "TM.VELTEK" Ltd.  
AE "BEST-BUSINESS"  
PJSC "Ilnitsa Plant of Mechanical Welding Equipment"  
Association of Russian Tribology Engineers  
A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of the RAS  
SSPE "Center" of the National Academy of Sciences of Belarus  
Belarusian National Technical University  
Machinebuilding Faculty of the Belgrade University  
Publishing house "Innovative Mechanical Engineering"

## **MODERN QUESTIONS OF PRODUCTION AND REPAIR IN INDUSTRY AND IN TRANSPORT**

**Materials of the 20th International Scientific  
and Technical Seminar**

*(March 23–29, 2020, ~~Kosice~~, Tbilisi, Georgia)*

Kyiv –2020

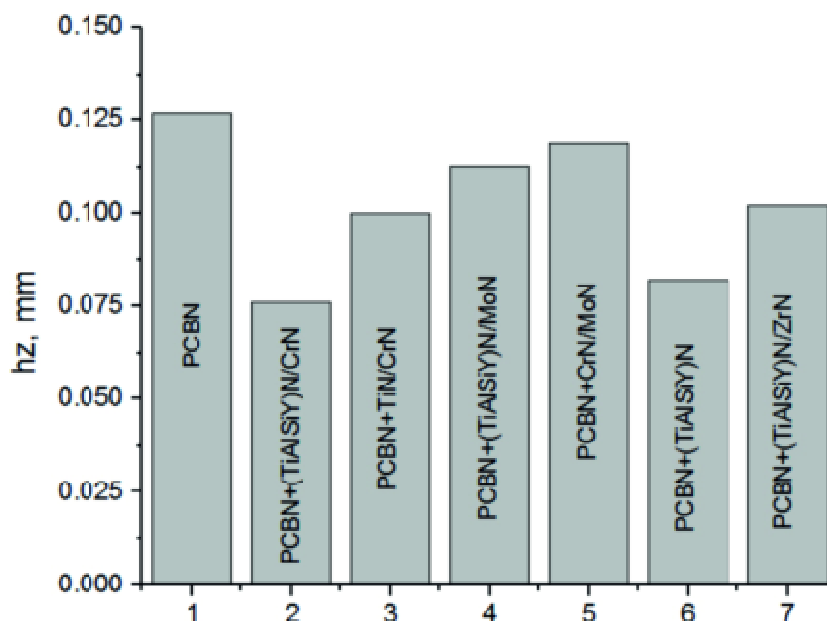
**Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте** : Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси. – Киев : АТМ Украины, 2020. – 228 с.

Тематика семинара:

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки в машино- и приборостроении
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Стандартизация, сертификация, технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий машино- и приборостроения
- Внедрение стандартов ДСТУ ISO 9001:2015 в промышленности, высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной власти
- Метрология, технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

**Материалы представлены в авторской редакции**

© АТМ Украины,  
2020 г.



**Рис. 1 – Диаграмма сравнительной эффективности покрытий**

Дальнейшее исследование кинетики изнашивания таких инструментов показывает, что покрытие существенно снижает интенсивность изнашивания инструментов по задней поверхности – по результатам нескольких повторных экспериментов за 24 минуты суммарного времени резания максимальная величина фаски износа  $h_z$  у модифицированных инструментов в среднем в 2,3 раза меньше. При этом существенных отличий в шероховатости поверхностей, обработанных инструментами с двумя типами композитов, в данных испытаниях не выявлено.

*Новиков Ф.В.* Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця,  
*Полянский В.И.* ООО «Империя металлов»,  
*Коломиец В.В.* Харьковский НТУ сельского хозяйства имени Петра Василенко, Харьков, Украина

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Одним из основных недостатков механической обработки является относительно высокая температура резания, ограничивающая достижение высоких показателей качества и производительности обработки. Особенно это относится к процессу шлифования, при

котором на обрабатываемой поверхности могут образовываться прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты. При лезвийной обработке температура резания меньше, что позволяет в ряде случаев отказаться от процесса шлифования и окончательную обработку производить режущими лезвийными инструментами, например, изготовленными из синтетических сверхтвердых материалов. В связи с этим возникает необходимость более тщательного теоретического анализа возможностей уменьшения температуры резания при лезвийной обработке.

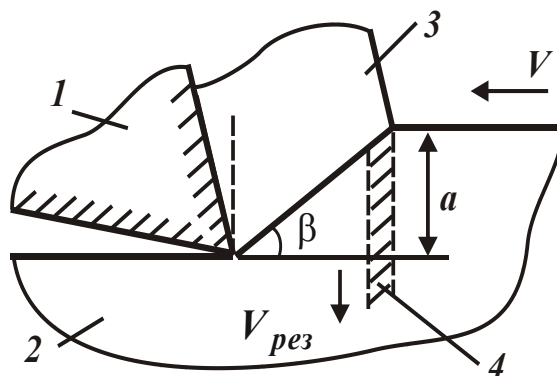
Для этого предложен новый теоретический подход к определению температуры резания при лезвийной обработке. Его суть состоит в том, что в расчетной схеме процесса резания (предложенной профессором Якимовым А.В.), основанной на представлении снимаемого припуска в виде пакета элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые расположены перпендикулярно направлению движения режущего инструмента и перерезаются им, необходимо учитывать количество образующихся сдвиговых элементарных объемов обрабатываемого материала, влияющих на температуру резания. По сути, необходимо перейти от учета непрерывного характера перерезания адиабатического стержня режущим инструментом (при шлифовании) к дискретному характеру его перерезания (при лезвийной обработке).

Аналитическая зависимость для определения температуры резания  $\theta$  с учетом непрерывного перерезания адиабатического стержня со скоростью  $V_{рез}$  при резании лезвийным инструментом имеет вид (рис. 1):

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез} \cdot a}{\lambda}},$$

где  $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$  – максимальная температура резания, град;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град);  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град);  $a$  – толщина среза, м.

Расчетами установлено, что с увеличением количества образующихся сдвиговых элементарных объемов обрабатываемого материала (количества перерезаний адиабатического стержня  $n$ ) температура резания  $\theta$  и отношение  $\theta/\theta_{max}$  увеличиваются (рис. 2).



**Рис. 1 – Расчетная схема параметров теплового процесса при точении:**  
 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующая стружка;  
 4 – адиабатический стержень



**Рис. 2 – Зависимость отношения  $\theta/\theta_{max}$  от  $n$**

Этим можно объяснить повышенные значения температуры резания при шлифовании ( $n \gg 1$ ) по сравнению с процессом точения. Например, при  $n = 1$  (т.е. при лезвийной обработке) все выделившееся при резании тепло остается в срезанной части адиабатического стержня, а затем уходит в образующуюся стружку, снижая тем самым температуру резания и повышая качество и производительность обработки. Поэтому на операциях финишной обработки материалов необходимо по возможности использовать процессы резания лезвийными инструментами вместо процессов шлифования с целью обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки. Этим показано, что в реальных условиях лезвийной обработки следует расчет температуры резания производить с учетом дискретного характера перерезания адиабатического стержня в процессе резания, поскольку при непрерывном характере перерезания адиабатического стержня температура резания  $\theta$  принимает повышенные значения, что справедливо применительно к процессу шлифования.

Основным условием уменьшения количества перерезаний адиабатического стержня  $n$  следует рассматривать увеличение условно-

го угла сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  за счет применения более совершенных режущих лезвийных инструментов, характеризующихся высокой режущей способностью и обеспечивающих снижение интенсивности трения в зоне резания. Очевидно, чем больше толщина элементарного объема отделяющегося элемента обрабатываемого материала вследствие его сдвига по условной плоскости сдвига, тем меньше степень его деформации и, соответственно, меньше условное напряжение резания  $\sigma$ , которое связано с условным углом сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  зависимостью:  $\sigma = \sigma_{сж}/\text{tg}\beta$ , где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>.

Как видно, с уменьшением условного напряжения резания  $\sigma$  увеличивается условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$ , что приводит к увеличению толщины элементарного объема отделяющегося элемента обрабатываемого материала и уменьшению количества перерезаний адиабатического стержня  $n$ . В свою очередь, уменьшение условного напряжения резания  $\sigma$  способствует уменьшению максимальной температуры резания  $\theta_{\text{max}} = \sigma/(c \cdot \rho)$  и, соответственно, текущего значения температуры резания  $\theta$  для заданных условий обработки. Этим показана более сложная связь параметров теплового процесса при резании материалов в закономерностях формирования температуры резания, чем это принято в известных расчетных схемах.

Учет количества перерезаний адиабатического стержня  $n$  позволяет уточнить известные аналитические решения по определению температуры резания. Например, экспериментально установлено, что при точении стали 45 и стали Р6М5 резцами из гексанита-Р температура резания отличается незначительно, хотя сталь Р6М5 прочнее стали 45 в несколько раз. Следовательно, теоретически с этих позиций температура резания при точении стали Р6М5 должна также в несколько раз превышать температуру резания при точении стали 45. Однако этого не происходит вследствие того, что, как установлено экспериментально, условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  при обработке стали Р6М5 приближается к 45°, тогда как при точении стали 45 он составляет всего 20°. Поэтому количество перерезаний адиабатического стержня  $n$  при точении стали Р6М5 меньше, чем при точении стали 45, что и приводит к снижению температуры резания стали Р6М5 до уровня температуры резания стали 45.

Как видно, в данном случае вследствие более высокой прочности стали Р6М5 относительно «улучшаются» условия ее обработки: уменьшается степень деформации и, соответственно, условное напряжение резания  $\sigma$ , увеличивается условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$ . В совокупности с уменьшением количества перерезаний адиабатического стержня  $n$  это и приводит к снижению температуры резания стали Р6М5 фактически до уровня температуры резания стали 45. Таким образом, учет величины  $n$  является важным фактором в формировании температуры резания при лезвийной обработке, позволяющим научно обоснованно подойти к установлению условий ее уменьшения и оценке возможностей эффективного перехода на финишных операциях от процесса шлифования к современным методам лезвийной обработки с целью снижения температуры резания и повышения качества обрабатываемых поверхностей.

*Новиков Ф.В.* Харьковский национальный  
экономический университет имени Семена Кузнеця, Харьков  
*Сергеев А.С., Андилахай А.А.* Приазовский государственный  
технический университет, Мариуполь, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Точность механической обработки отверстий во многом определяется несоосностью обрабатываемого отверстия и режущего многолезвийного инструмента (сверла, зенкера, развертки, хона и т.д.). Это происходит в результате отклонения оси инструмента или обрабатываемого отверстия относительно исходного положения в связи с неравномерностью снимаемого припуска. По мере увеличения количества проходов инструмента (одного диаметра) эта несоосность уменьшается, однако остается погрешность обработки, образованная на первом проходе инструмента. В результате максимальный диаметр обрабатываемого отверстия становится больше диаметра режущего осевого инструмента, т.е. происходит «разбивка отверстия». Чтобы исключить такую погрешность обработки,

<i>Kopersak V.</i> CALCULATIONS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THERMO-PHYSICAL PROPERTIES OF SOME FLUXES	94
<i>Копылов В.И., Люшенко Е.О., Дудан А.В.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	98
<i>Кочурко-Станиславчик Ю.В., Голод О.И., Санюк И.В.</i> ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОТОРЫХ ПРИНИМАЕТ УЧАСТИЕ РЕСПУБЛИКА	103
<i>Крот А.М., Шкурко В.В., Хейфец И.М.</i> АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ	107
<i>Курзина Е.Г., Курзина Н.М., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л.</i> УПРОЧНЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ КОМПОЗИТОВ КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ	112
<i>Lavrinenko V.</i> TO THE ISSUE OF POPULARIZATION OF SCIENTIFIC DEVELOPMENTS IN THE DIRECTION OF APPLICATION OF SUPERHARD MATERIALS IN INDUSTRY	115
<i>Литвиненко О.А., Бойко Ю.И., Полонський Л.Г., Яновський В.А.</i> ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ САМ-САД ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	117
<i>Манохин А.С., Муковоз С.Ю., Муковоз Е.А.</i> СРАВНЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ P <sub>c</sub> BN С РАЗЛИЧНЫМИ НАНОСЛОЙНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	121
<i>Новиков Ф.В., Полянский В.И., Коломиец В.В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ	123
<i>Новиков Ф.В., Сергеев А.С., Андилахай А.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	127