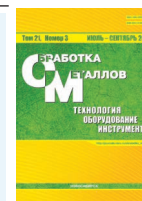




## Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)



### Определение теплопроводности твердосплавного режущего инструмента с многослойными износостойкими покрытиями

Александр Ингеманссон<sup>1, а, \*</sup>, Александр Бондарев<sup>2, б</sup>

<sup>1</sup> АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»», пр. Ленина, б/н, г. Волгоград, 400071, Россия

<sup>2</sup> Волгоградский государственный технический университет, пр. им. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Россия

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7963-393X>, [aleing@yandex.ru](mailto:aleing@yandex.ru), <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0645-5634>, [alexander\\_bondarev@mail.ru](mailto:alexander_bondarev@mail.ru)

#### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.9.025

#### История статьи:

Поступила: 21 мая 2019  
 Рецензирование: 05 июня 2019  
 Принята к печати: 15 июля 2019  
 Доступно онлайн: 15 сентября 2019

#### Ключевые слова:

Твердосплавный инструмент  
 Многослойные покрытия  
 Теплопроводность  
 Математические модели  
 Цифровые производственные системы

#### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Выходные параметры процесса резания в значительной степени определяются характером протекания процессов стружкообразования и контактного взаимодействия обрабатываемого и инструментального материала. Адаптивное управление процессом резания для современного автоматизированного оборудования с ЧПУ позволяет обеспечивать надежность выходных параметров обработки. Разработка математических моделей для управления процессом резания, учитывающих теплопроводность инструментального материала, является необходимым условием реализации возможностей адаптивного управления современным оборудованием в цифровых производственных системах (ЦПС) для механической обработки. При этом на сегодняшний день отсутствует комплекс информации о теплопроводности инструментов с многослойными покрытиями для обработки различных материалов, для различных условий обработки и способов нанесения покрытия. Данная проблема является ограничивающим фактором для разработки надежных математических моделей для технологической подготовки производства и управления выходными параметрами процесса резания. **Цель работы:** определение величины теплопроводности современных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями для последующего использования при построении математических моделей, связывающих режимы и условия обработки с действующими силами резания и выходным параметром обработки – шероховатостью обработанной поверхности. **Методами исследования** являются анализ и систематизация информации о химическом составе и конструкциях многослойных покрытий исходя из способа нанесения покрытия, режимов и условий механической обработки и обрабатываемых материалов, а также определение по расчетной методике коэффициентов теплопроводности твердосплавных инструментов с покрытиями. **Результаты и обсуждение.** На основе проведенного анализа и расчетов получены значения коэффициентов теплопроводности для режущих инструментов с многослойными покрытиями, наиболее широко применяемых в производственной практике. Указанные значения предназначены для использования при построении математических моделей, связывающих режимы и условия обработки с выходными параметрами обработки и основанных на учете теплофизических процессов при резании. Разработанные на основе этих данных модели планируется использовать для технологической подготовки производства и адаптивного управления современным оборудованием в ЦПС для механической обработки.

**Для цитирования:** Ингеманссон А.Р., Бондарев А.А. Определение теплопроводности твердосплавного режущего инструмента с многослойными износостойкими покрытиями // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 97–105. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.3-97-105.

### Введение

Выходные параметры процесса резания, в частности качество обработанной поверхности, в значительной степени определяются характером протекания процессов стружкообразования

и контактного взаимодействия обрабатываемого и инструментального материала. В свою очередь, процессы стружкообразования и контактного взаимодействия зависят от теплофизических свойств контактной пары. В частности, изменения соотношения теплопроводностей обрабатываемого и инструментального материала способствуют существованию различных видов контактного взаимодействия по передней и задней поверхности режущего инструмента [1]. Смена инструментов по параметру теплопроводности

#### \*Адрес для переписки

Ингеманссон Александр Рональдович, к.т.н., главный технолог  
 АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»»,  
 пр. Ленина, б/н  
 400071, г. Волгоград, Россия  
 Тел.: +7 (8442) 74-90-74, e-mail: [aleing@yandex.ru](mailto:aleing@yandex.ru)

при неизменности обрабатываемого материала приводит к получению различного качества обработанной поверхности, в частности, по параметру шероховатости.

Адаптивное управление процессом резания для современного автоматизированного оборудования с ЧПУ позволяет обеспечивать надежность выходных параметров обработки. Разработка математических моделей для управления процессом резания, учитывающих теплопроводность инструментального материала, является необходимым условием реализации возможностей адаптивного управления современным оборудованием в цифровых производственных системах (ЦПС) для механической обработки. Кроме этого указанные математические модели необходимы для нужд технологического проектирования при подготовке производства.

На сегодняшний день твердые сплавы являются основным инструментальным материалом для лезвийной обработки конструкционных углеродистых, легированных и коррозионно-стойких сталей. В литературе достаточно информации о значениях коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м · К) отечественных непокрытых твердых сплавов [1]. Кроме этого некоторые иностранные производители указывают значения коэффициента теплопроводности для некоторых непокрытых твердых сплавов в каталогах [2]. При этом основной объем современного твердосплавного инструмента выпускается с износостойкими покрытиями. Однако на сегодняшний день отсутствует комплекс информации о теплопроводности инструментов с многослойными покрытиями для обработки различных материалов, для различных условий обработки и способов нанесения покрытия. Данная проблема представляет собой ограничивающий фактор в разработке надежных математических моделей для технологической подготовки производства и управления выходными параметрами процесса резания. Поэтому анализ теплофизических свойств современных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями и выдача практических рекомендаций являются актуальной научно-практической задачей.

В связи с этим цель настоящей работы заключается в определении величин теплопроводности современных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями для последую-

щего использования при построении математических моделей, связывающих режимы и условия обработки с действующими силами резания и выходным параметром обработки – шероховатостью обработанной поверхности.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, выполнить анализ наиболее широко применяемых в производственной практике и серийно выпускаемых многослойных износостойких покрытий на твердосплавный режущий инструмент в зависимости от способов нанесения покрытия, видов и условий операций механической обработки и обрабатываемых материалов. Во-вторых, выполнить расчет коэффициентов теплопроводности современных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями.

### Методика исследований

Для решения указанной проблемы в первую очередь выполнено изучение и систематизация информации о химическом составе и конструкциях многослойных покрытий исходя из способа нанесения покрытия, режимов и условий механической обработки и обрабатываемых материалов. Для анализа использовались работы отечественных и зарубежных исследователей [2–7; 15–20], а также справочная информация от ведущих мировых производителей лезвийного инструмента, в том числе компаний «Korloy» (Ю. Корея) [2], «Sandvik Coromant» (Швеция) [8–10], «Widia» (Германия) [11] и др.

В качестве основы для современных режущих пластин с износостойкими покрытиями в основном используются вольфрамкобальтовые, вольфрамотитанокобальтовые и вольфрамтитаноталокобальтовые твердые сплавы. Процентное содержание карбидов и связки определяется условиями механической обработки с увеличением прочности на изгиб за счет увеличения содержания кобальта для предварительных операций. В настоящей работе исходя из анализа данных по процентному содержанию химических соединений в описанных современных твердых сплавах [1; 5; 8–12]; для последующих расчетов теплопроводности сменных многогранных пластин (СМП) с износостойкими покрытиями установлены и приняты значения теплопроводности  $\lambda$  твердосплавной основы в

зависимости от группы обрабатываемого материала и вида обработки, которые приведены в табл. 1.

Покрyтия наносятся способами физического осаждения из паровой фазы (physical vapor deposition, PVD) и химического осаждения из паровой фазы (chemical vapor deposition, CVD). Покрyтия, нанесенные химическим осаждением, отличаются большей износостойкостью. При этом покрyтия, нанесенные физическим осаждением, отличаются большей прочностью и меньшей толщиной, что определяет остроту режущих кромок. Это особенно важно для прецизионной и мелкоразмерной обработки. Толщина PVD-покрyтий варьируется в диапазоне 2...6 мкм, толщина CVD-покрyтий – 4...20 мкм. В качестве обрабатываемых материалов рассмотрены конструкционные углеродистые и легированные стали – группа «Р» согласно международному стандарту ISO и коррозионно-стойкие – группа «М». В табл. 2 приведены сведения, полученные в результате анализа информации о наиболее часто используемых структурах покрyтий для групп обрабатываемых материалов, способах нанесения покрyтия, условий обработки согласно ISO и соответствующих толщинах покрyтий. Наиболее широко применяемыми в производственной практике и серийно выпускаемыми многослойными покрyтиями являются следующие. Для CVD-покрyтий – комбинация: твердосплавная основа–TiCN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiN (см. рисунок, а). Для PVD-покрyтий – комбинация: твердосплавная основа–TiAlN–TiN (см. рисунок, б).

Из табл. 2 видно, что по мере перехода от предварительных нагруженных операций механической обработки (вид обработки соглас-

но ISO «35», «25») к чистовым (вид обработки «05») толщина покрyтия увеличивается с целью противодействия диффузионному изнашиванию на высоких скоростях резания и тем самым повышению износостойкости пластины. Кроме этого для обработки коррозионно-стойких сталей (группа М) применяются CVD-покрyтия меньшей толщины, чем для обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей (группа Р). Для последующих расчетов теплопроводности инструментов с многослойными покрyтиями были проанализированы сведения об объемной доле каждого слоя относительно общей толщины покрyтия. Анализ показал, что для задач расчета теплопроводности инструментов с многослойными покрyтиями с достаточной точностью следует принять следующие соотношения. Объемное отношение слоев для CVD-покрyтий: TiCN – 50 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 40 %; TiN – 10 %; для PVD-покрyтий: TiAlN – 70 %; TiN – 30 %.

В работе [6] для задачи построения математической модели для определения длины контакта между инструментом и стружкой применено понятие так называемой «эффективной теплопроводности режущего инструмента». Для построения модели использована схема резания, представляющая собой по сути условную схему резания. Понятие эффективной теплопроводности подразумевает интегральную характеристику, учитывающую влияние теплопроводности и толщины индивидуальных слоев на общую теплопроводность многослойного износостойкого покрyтия на режущем инструменте. Авторами работы [6] использована методика расчета теплопроводности многослойного покрyтия,

Таблица 1

Table 1

**Теплопроводность твердосплавной основы в зависимости от группы обрабатываемого материала и вида обработки**

**Thermal conductivity of cemented carbide substrate according to machined material group and type of machining**

Группа обрабатываемого материала и вид обработки по ISO / ISO material group and type of machining	P01–P05	P10–P20	P25–P40	M05–M20	M25–M35
Теплопроводность твердосплавной основы λ, Вт/(м · К) / Cemented carbide substrate thermal conductivity λ (W/m · K)	23	27	41	50	52

Характеристики современных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями  
 Characteristics of modern carbide tools with wear-resistant coatings

Группа обрабатываемого материала по ISO/ISO material group	Тип покрытия / coating type	Структура покрытия / coating structure	Вид обработки по ISO / Type of machining by ISO	Толщина покрытия, мкм / Coating thickness, $\mu\text{m}$	Теплопроводность покрытия $\lambda$ , Вт/(м · К) / Coating thermal conductivity $\lambda$ (W/m · K)
P	CVD	TiCN– $\text{Al}_2\text{O}_3$ –TiN	05	22	30,2
			15	18	31,1
			25	16	34,3
			35	14	34,5
	PVD	TiAlN–TiN	15	9,5	39,4
			25	8	48,4
35			8	48,4	
M	CVD	TiCN– $\text{Al}_2\text{O}_3$ –TiN	15	9,5	38,1
			25	9,5	38,6
	PVD	TiAlN–TiN	05	8	54,2
			15	8	54,2
			25	8	55,3

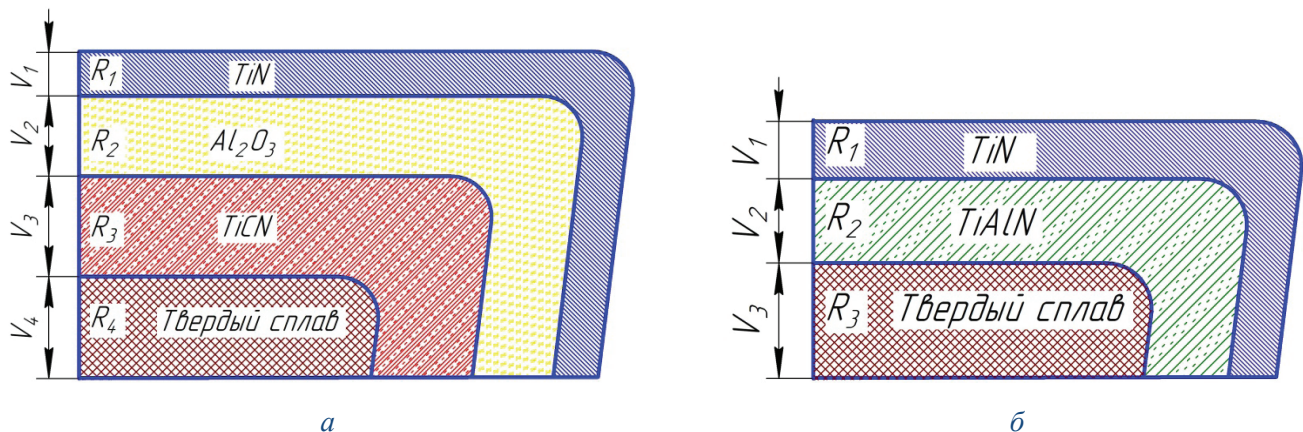


Схема режущего инструмента с многослойным покрытием, нанесенным CVD-способом (а) и PVD-способом (б)

Scheme of a cutting tool with multilayer coating made by CVD method (a) and PVD method (b)

соответствующая используемой в настоящей работе. Необходимо отметить следующее. Для учета теплопроводности твердосплавной основы при расчете теплопроводности инструмента с многослойным покрытием использование значения полной толщины твердосплавной СМП является нецелесообразным. Это связано с тем, что несравнимо большая толщина основы, исчисляемая в миллиметрах, по сравнению с тол-

щиной покрытия, исчисляемой в микрометрах, при расчете общей теплопроводности полностью нивелирует влияние покрытия. Данное положение находит подтверждение в работе [6]. В указанном исследовании при расчетах толщину твердосплавной основы принимали равной толщине покрытия. Кроме того, авторами [6] были получены величины теплопроводности инструментов с несколькими основными вида-

ми многослойных покрытий. Однако для задач построения математических моделей для технологической подготовки производства и адаптивного управления в ЦПС необходимо учитывать изменение общей толщины покрытия при смене видов обработки – от предварительной к чистовой. Определение фиксированного значения теплопроводности конкретного вида покрытия без учета изменения толщины покрытия при смене вида обработки оказывается недостаточным. При переходе к чистовой обработке толщина используемого многослойного покрытия растёт и, следовательно, изменяется теплопроводность инструмента. Поэтому в настоящей работе с целью учета влияния вида обработки и толщины многослойного покрытия на теплофизические процессы при резании толщина твердосплавной основы принимается фиксированной при изменении толщины многослойного покрытия и равной практически минимальной возможной толщине покрытия, т. е. 4 мкм.

### Результаты и их обсуждение

На следующем этапе выполнен расчет, описанный ниже, значений коэффициентов теплопроводности твердосплавных инструментов с многослойными покрытиями для последующего использования при разработке математических моделей для технологической подготовки производства и управления выходными параметрами процесса резания.

Тепловое сопротивление материала  $R$  определяется зависимостью [13]

$$R = \frac{1}{\lambda}. \quad (1)$$

Тепловое сопротивление режущего инструмента с многослойным покрытием рассчитывается согласно методике определения теплопроводности слоистых материалов [14] и выражается следующей зависимостью:

$$R_0 V_0 = (R_n V_n) + (R_m V_m) + (R_x V_x), \quad (2)$$

где  $R_0$  – общее тепловое сопротивление режущего инструмента с многослойным покрытием;  $R_n$ ,  $R_m$ ,  $R_x$  – тепловое сопротивление твердосплавной основы и каждого слоя покрытия (количество слоев покрытий, наносимых на основу, изменяется с учетом вида обработки и способа нане-

сения покрытия),  $V_0$  – общая толщина основы с покрытием;  $V_n$ ,  $V_m$ ,  $V_x$  – толщина твердосплавной основы и каждого слоя покрытия соответственно.

Значения коэффициента теплопроводности основы для описанных современных твердых сплавов были приведены в работе ранее. Информация о величинах коэффициентов теплопроводности химических соединений, соответствующих каждому слою покрытий, представлена в достаточном объеме в литературе [2–7]. Объемное соотношение, толщина основы и каждого из слоев покрытий были установлены в работе ранее. Следовательно, в формуле (2) остается неизвестным только искомое значение общей теплопроводности режущего инструмента с покрытием  $\lambda_0 \left( \lambda_0 = \frac{1}{R_0} \right)$ .

Приведем частный случай расчета теплопроводности для пластины с CVD-типом покрытия, структурой «твердосплавная основа–TiCN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiN», предназначенной по группе обрабатываемости для чистовой обработки, т. е. согласно ISO – P05 (см. табл. 2).

Тепловое сопротивление пластины рассчитывается по формуле

$$R_0 = \frac{(R_{\text{TiCN}} V_{\text{TiCN}}) + (R_{\text{Al}_2\text{O}_3} V_{\text{Al}_2\text{O}_3}) + (R_{\text{TiN}} V_{\text{TiN}}) + (R_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}} V_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}})}{V_0}.$$

В связи с тем, что коэффициент теплопроводности  $\lambda$  является величиной, обратной тепловому сопротивлению  $R \left( \lambda_0 = \frac{1}{R_0} \right)$ , то

$$\begin{aligned} \lambda_0 = \frac{1}{R_0} &= \frac{1}{(R_{\text{TiCN}} V_{\text{TiCN}}) + (R_{\text{Al}_2\text{O}_3} V_{\text{Al}_2\text{O}_3}) + (R_{\text{TiN}} V_{\text{TiN}}) + (R_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}} V_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}})} = \\ &= \frac{V_0}{(R_{\text{TiCN}} V_{\text{TiCN}}) + (R_{\text{Al}_2\text{O}_3} V_{\text{Al}_2\text{O}_3}) + (R_{\text{TiN}} V_{\text{TiN}}) + (R_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}} V_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН.}})}. \end{aligned}$$

В табл. 3 приведены объемные соотношения (толщины) и коэффициенты теплопроводности каждого из химических соединений по отдельности, использованных в примере расчета [2–7]. Значение теплового сопротивления каждого из

**Характеристики химических соединений, использованных в примере расчета**
**Characteristics of chemical compounds which in the calculation example were used**

Химическое соединение/ Chemical compound	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ (Вт/м · К)/ Thermal conductivity $\lambda$ (W/m · K)	Тепловое сопротивление $R = 1/\lambda$ Thermal resistance	Толщина, мкм/ Thickness, $\mu\text{m}$
TiCN	36,5	0,0274	9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,28	0,0342	7,2
TiN	29,28	0,0342	1,8
Твердосплавная основа/ Cemented carbide substrate	23	0,0434	4

**Вывод**

слоев рассчитывается с использованием формулы (1). Общая толщина твердого сплава с многослойным покрытием рассчитывается как сумма всех составляющих толщин расчетного образца. Значения толщин многослойных покрытий, нанесенных способом CVD, объемное соотношение слоев и толщина твердосплавной основы зафиксированы в работе ранее. Следовательно, общая расчетная толщина инструментального материала

$$V_o = V_{\text{TiCN}} + V_{\text{Al}_2\text{O}_3} + V_{\text{TiN}} + V_{\text{TiN}} + V_{\text{ТВ.СПЛ.ОСН}} = 9 + 7,2 + 1,8 + 4 = 22 \text{ мкм.}$$

Таким образом, все значения расчетной формулы известны, следовательно, значение коэффициента теплопроводности для твердосплавной пластины с CVD-типом покрытия, структурой «твердосплавная основа–TiCN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiN», предназначенной по группе обрабатываемости, согласно ISO – P05 будет равно

$$\lambda_o = \frac{22}{(0,0274 \cdot 9) + (0,0342 \cdot 7,2) + (0,0342 \cdot 1,8) + (0,0434 \cdot 4)} = \frac{22}{(0,2466) + (0,24624) + (0,06156) + (0,1736)} = \frac{22}{0,728} = 30,2 \text{ Вт/(м · К)}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таким образом, выполнен анализ наиболее широко применяемых в производственной практике и серийно выпускаемых твердосплавных режущих инструментов с многослойными износостойкими покрытиями и получены значения коэффициентов теплопроводности для этих инструментов. Коэффициент теплопроводности отражает теплофизические свойства инструментального материала, контактирующего с обрабатываемым. Полученные значения предназначены для использования при построении математических моделей, связывающих режимы и условия обработки с действующими силами резания и выходным параметром обработки – шероховатостью обработанной поверхности. Разработанные на основе этих данных модели планируется использовать при технологической подготовке производства при расчете стартовых и уточненных режимов резания в зависимости от вида обработки, свойств обрабатываемого материала и применяемых инструментов, а также для адаптивного управления современным металлорежущим оборудованием с ЧПУ в ЦПС для механической обработки.

**Список литературы**

1. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с. – ISBN 5-217-01857-7.
2. Korloy. Metal cutting tools: catalogue. – South Korea: Korloy Publ., 2017. – P. 1060.

3. *Верещака А.С., Третьяков И.П.* Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

4. *Табаков В.П., Чихранов А.В.* Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 255 с. – ISBN 5-89146-710-0.

5. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания / В.Н. Андреев, Г.В. Боровский, В.Г. Боровский, С.Н. Григорьев; под ред. В.А. Гречишниковой. – М.: Машиностроение, 2010. – 480 с. – ISBN 978-5-94275-571-1.

6. *Balaji A.K., Mohan V.S.* An «effective cutting tool thermal conductivity» based model for tool-chip contact in machining with multi-layer coated cutting tools // *Machining Science and Technology*. – 2002. – Vol. 6, iss. 3. – P. 415–436. – DOI: 10.1081/MST-120016254.

7. *Ucun I., Aslantas K.* Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer tools // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2011. – Vol. 54, iss. 9–12. – P. 899–910. – DOI: 10.1007/s00170-010-3012-9.

8. Sandvik Coromant machining work manual: guide. – Sweden: Elanders Publ., 2010. – 803 p.

9. Sandvik Coromant technology of metal cutting: guideline. – Sweden: Elanders Publ., 2009. – 359 p.

10. *Sadik M.I.* An introduction to cutting tools materials and applications. – Sweden: Elanders Publ., 2013. – 208 p. – ISBN 978-91-637-4920-9.

11. Widia. Turning tool: catalogue. – Germany: Widia Publ., 2017. – 657 p.

12. *Быков Ю.М.* Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями с целью повышения его работоспособности: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Волгоград, 1983. – 253 с.

13. *Постников В.С.* Физика и химия твердого состояния. – М.: Металлургия, 1978. – 544 с.

14. Исследование теплопроводности биметаллических соединений из однородных и разнородных сталей / Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков, Д.В. Проничев,

А.Э. Петров // *Известия ВолгГТУ. Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»*. – 2009. – № 11, вып. 3. – С. 31–35.

15. Effect of adhesion and tribological properties of modified composite nanostructured multi-layer nitride coatings on WC-Co tools life / A.A. Vereshaka, N. Sitnikov, A. Batako, M. Migranov, A. Aksenenko, S. Shevchenko, C. Sotova, A. Andreev // *Tribology International*. – 2018. – Vol. 128. – P. 313–327. – DOI: 10.1016/j.triboint.2018.07.039.

16. Working efficiency of cutting tools with multilayer nano-structured Ti-TiCN-(Ti,Al)CN and Ti-TiCN-(Ti,Al,Cr)CN coatings: analysis of cutting properties, wear mechanism and diffusion processes / A.A. Vereshaka, N. Sitnikov, A. Batako, G. Oganyan // *Surface and Coatings Technology*. – 2017. – Vol. 332. – P. 198–213. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.10.027.

17. Investigation of wear and diffusion processes on rake faces of carbide inserts with Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N composite nanostructured coating / A.A. Vereshaka, N. Sitnikov, G. Oganyan, I. Sadov, Yu. Bublikov, C. Sotova // *Wear*. – 2018. – Vol. 416–417. – P. 72–80. – DOI: 10.31145/1999-513x-2017-7-59-65.

18. Influence of thickness of multilayer composite nano-structured coating Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N on tool life of metal-cutting tool / A.A. Vereshaka, N. Sitnikov, G. Oganyan, C. Sotova, S. Grigoriev // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 77. – P. 545–548. – DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.237.

19. *Klocke E.h.F.* Cutting materials, tools and coolants for machining with geometrically defined cutting edges / WZL. Fraunhofer IPT. – URL: [http://www1.dicci.unipi.it/Valentini\\_Renzo/es%20Metallurgia%20Meccanica/utensili.pdf](http://www1.dicci.unipi.it/Valentini_Renzo/es%20Metallurgia%20Meccanica/utensili.pdf) (accessed: 12.08.2019).

20. Improvement of wear performance of nano-multilayer PVD coatings under dry hard end milling conditions based on their architectural development C. Shahereen, B.D. Beake, K. Yamamoto, B. Bose, M. Aguirre, G.S. Fox-Rabinovich, S.C. Veldhuis // *Coatings*. – 2018. – Vol. 8, iss. 2. – P. 59. – DOI: 10.3390/coatings8020059.

## Конфликт интересов

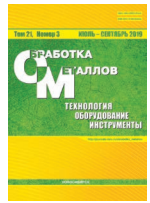
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



# Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)



## Definition of Thermal Conductivity of Cemented Carbide Cutting Tools with Multilayer Wear-Resistant Coatings

Alexander Ingemansson<sup>1, a, \*</sup>, Alexander Bondarev<sup>2, b</sup>

<sup>1</sup> JSC «Federal Scientific and production center «Titan-Barricady», Lenin av., w/n, Volgograd, 400071, Russian Federation

<sup>2</sup> Volgograd State Technical University, 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7963-393X>, [aleing@yandex.ru](mailto:aleing@yandex.ru), <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0645-5634>, [alexander\\_bondarev@mail.ru](mailto:alexander_bondarev@mail.ru)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 21 May 2019

Revised: 05 June 2019

Accepted: 15 July 2019

Available online: 15 September 2019

#### Keywords:

Cemented carbide tools

Multilayer coatings

Thermal conductivity

Mathematical models

Digital production systems

### ABSTRACT

**Introduction.** The output parameters of cutting process, particularly the quality of machined surface, are largely determined by the character of chip-forming processes and contact interaction of parts and tool materials. Adaptive cutting process control for modern automated CNC machinery allows ensuring the reliability of the output processing parameters. The development of mathematical models, which take into account the thermal conductivity of tool materials, is the necessary condition for realizing the possibilities of adaptive control of modern equipment in digital production systems (DPS) for machining operation. Cemented carbides are the main tool materials for edge cutting of carbon, alloyed and stainless steels. At the same time, there is currently no complex of information on the thermal conductivity of instruments with multilayer coatings for machining operation of various materials, for various processing conditions and methods for applying coatings. This problem is a limiting factor for the development of reliable mathematical models for technological preparation of production and control of the output parameters of the cutting process. Therefore, the analysis of thermal and physical properties of modern cemented carbide tools with wear-resistant coatings and offering of practical recommendations are the up-to-date scientific and practical task. **The purpose of the work** is to define a value of thermal conductivity of modern cemented carbide tools with wear-resistant coatings for subsequent use in development of mathematical models linking the modes and processing conditions with the current cutting forces and the output processing parameter – the surface roughness. **The research methods** are: the analysis and systematization of information on the chemical composition and designs of multilayer coatings based on the method of coating, modes and conditions of machining and materials to be machined, as well as determining the thermal conductivity coefficients of hard-alloy tools with coatings by the calculation method. **The results and discussion.** Based on the analysis and calculations, the most widely used in manufacturing practice values of thermal conductivity coefficients for cutting tools with multilayer coatings are obtained. These values are intended for use in the development of mathematical models that link the modes and processing conditions with the output processing parameters and are based on the consideration of thermal and physical processes during cutting. The models developed on the basis of these data are planned to be used for the technological preparation of production and the adaptive control of modern equipment in the DSP for machining.

**For citation:** Ingemansson A.R., Bondarev A.A. Definition of thermal conductivity of cemented carbide cutting tools with multilayer wear-resistant coatings. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 3, pp.97–105. DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.3-97-105. (In Russian).

### References

1. Talantov N.V. *Fizicheskie osnovy protsessa rezaniya, iznashivaniya i razrusheniya instrumenta* [Physical fundamentals of cutting, wear and destruction of the tool]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992. 240 p. ISBN 5-217-01857-7.
2. Korloy. *Metal cutting tools: catalogue*. South Korea, Korloy Publ., 2017, p. 1060.

#### \* Corresponding author

Ingemansson Alexander R., Ph.D. (Engineering), Head  
of Technological department

JSC «Federal Scientific and production center «Titan-Barricady»

Lenin av., w/n,

400071, Volgograd, Russian Federation

Tel.: +7 (8442) 74-90-74, e-mail: [aleing@yandex.ru](mailto:aleing@yandex.ru)



3. Vereshchaka A.S., Tret'yakov I.P. *Rezhushchie instrumenty s iznosostoikimi pokrytiyami* [Wear resistant cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 192 p.
4. Tabakov V.P., Chikhranov A.V. *Iznosostoikie pokrytiya rezhushchego instrumenta, rabotayushchego v usloviyakh nepreryvnogo rezaniya* [Wear resistant coatings of cutting tools operating in continuous cutting condition]. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University Publ., 2007. 255 p. ISBN 5-89146-710-0.
5. Andreev V.N., Borovskii G.V., Borovskii V.G., Grigor'ev S.N. *Instrument dlya vysokoproizvoditel'nogo i ekologicheskogo rezaniya* [Tool for high-performance and environmentally friendly cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010. 480 p. ISBN 978-5-94275-571-1.
6. Balaji A.K., Mohan V.S. An «effective cutting tool thermal conductivity» based model for tool-chip contact in machining with multi-layer coated cutting tools. *Machining Science and Technology*, 2002, vol. 6, iss. 3, pp. 415–436. DOI: 10.1081/MST-120016254.
7. Ucun I., Aslantas K. Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, vol. 54, iss. 9–12, pp. 899–910. DOI: 10.1007/s00170-010-3012-9.
8. *Sandvik Coromant machining work manual: guide*. Sweden, Elanders Publ., 2010. 803 p.
9. *Sandvik Coromant technology of metal cutting: guideline*. Sweden, Elanders Publ., 2009. 359 p.
10. Sadik M.I. *An introduction to cutting tools materials and applications*. Sweden, Elanders Publ., 2013. 208 p. ISBN 978-91-637-4920-9.
11. *Widia. Turning tool: catalogue*. Germany, Widia Publ., 2017. 657 p.
12. Bykov Yu.M. *Issledovanie zakonornosti iznosa tverdospлавного instrumenta s iznosostoikimi pokrytiyami s tsel'yu povysheniya ego rabotosposobnosti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Study of the wear patterns of carbide tools with wear-resistant coatings in order to increase its efficiency. PhD eng. sci. diss.]. Volgograd, 1983. 253 p.
13. Postnikov V.S. *Fizika i khimiya tverdogo sostoyaniya* [Solid state physics and chemistry]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 544 p.
14. Gurevich L.M., Trykov Yu.P., Pronichev D.V., Petrov A.E. Issledovanie teploprovodnosti bimetallicheskih soedinenii iz odnorodnykh i raznorodnykh stalei [Thermal conductivity investigation of bimetallic compounds from homogeneous and dissimilar steels] *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii» = Izvestia of Volgograd State Technical University. Series «Problems of materials science, welding and strength in mechanical engineering»*, 2009, no. 11, iss. 3, pp. 31–35.
15. Vereshaka A.A., Sitnikov N., Batako A., Migranov M., Aksenenko A., Shevchenko S., Sotova C., Andreev A. Effect of adhesion and tribological properties of modified composite nanostructured multi-layer nitride coatings on WC-Co tools life. *Tribology International*, 2018, vol. 128, pp. 313–327. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.07.039.
16. Vereshaka A.A., Sitnikov N., Batako A., Oganyan G. Working efficiency of cutting tools with multilayer nano-structured Ti-TiCN-(Ti,Al)CN and Ti-TiCN-(Ti,Al,Cr)CN coatings: analysis of cutting properties, wear mechanism and diffusion processes. *Surface and Coatings Technology*, 2017, vol. 332, pp. 198–213. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.10.027.
17. Vereshaka A.A., Sitnikov N., Sadov I., Bublikov Yu., Sotova C. Investigation of wear and diffusion processes on rake faces of carbide inserts with Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N composite nanostructured coating. *Wear*, 2018, vol. 416–417, pp. 72–80. DOI: 10.31145/1999-513x-2017-7-59-65.
18. Vereshaka A.A., Sitnikov N., Oganyan G., Sotova C., Grigoriev S. Influence of thickness of multilayer composite nano-structured coating Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N on tool life of metal-cutting tool. *Procedia CIRP*, 2018, vol. 77, pp. 545–548. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.237.
19. Klocke E.h.F. *Cutting materials, tools and coolants for machining with geometrically defined cutting edges*. WZL. Fraunhofer IPT. Available at: [http://www1.diccism.unipi.it/Valentini\\_Renzo/es%20Metallurgia%20Meccanica/utensili.pdf](http://www1.diccism.unipi.it/Valentini_Renzo/es%20Metallurgia%20Meccanica/utensili.pdf) (accessed 12.08.2019).
20. Shahereen C., Beake B.D., Yamamoto K., Bose B., Aguirre M., Fox-Rabinovich G.S., Veldhuis S. Improvement of wear performance of nano-multilayer pvd coatings under dry hard end milling conditions based on their architectural development. *Coatings*, 2018, vol. 8, iss. 2, p. 59. DOI: 10.3390/coatings8020059.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.