Верещагин В. Ю., Мокрицкий Б. Я., Верещагина А. С., Кравченко Е. Г.
V. Yu. Vereshchagin, B. Ya. Mokritskii, A. S. Vereshchagina, E. G. Kravchenko

**ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕМ КЛИНЕ**

**THE INFLUENCE OF THE CUTTING TOOLS COVER ON DISTRIBUTION
OF THE CUTTING WEDGES TENSION**

Верещагин Владислав Юрьевич – старший преподаватель кафедры информационных, сервисных и общетехнических дисциплин Новосибирского государственного педагогического университета (Россия, Новосибирск); тел. 89134694095. E-mail: Klirickv@gmail.com.

Mr. Vladislav Yu. Vereshchagin – Senior Teacher, Information, Service and General Technical Sciences Department, Novosibirsk State Pedagogical University (Russia, Novosibirsk); tel. 89134694095. E-mail: Klirickv@gmail.com.

Мокрицкий Борис Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); тел. 89141757562. E-mail: boris@knastu.ru.

Mr. Boris Ya. Mokritskii – Dr. habil. in Engineering, professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 89141757562. E-mail: boris@knastu.ru.

Верещагина Александра Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Новосибирского государственного технического университета (Россия, Новосибирск); тел. 89134694337. E-mail: vereshhagina@corp.nstu.ru.

Ms. Alexandra S. Vereshchagina – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of mechanical engineering, Novosibirsk State Technical University (Russia, Novosibirsk); tel. 89134694337. E-mail: vereshhagina@corp.nstu.ru.

Кравченко Елена Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ek74@list.ru.

Ms. Elena G. Kravchenko – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ek74@list.ru.

Аннотация. Рассмотрен процесс резания инструментом с нанесенными на него покрытиями. Проведены исследования напряженного состояния режущего инструмента с покрытиями в процессе резания. Показана взаимосвязь силы резания с напряжениями, возникающими в режущем инструменте. Проведена оценка работоспособности режущего инструмента с покрытиями.

Summary. The process of cutting with a coated tool is considered. Investigations of the stressed state of the cutting tool with coatings during the cutting process are carried out. The interaction of the cutting force with the stresses arising in the cutting tool is shown. The efficiency of the cutting tool with coatings was evaluated.

Ключевые слова: режущий инструмент, процесс резания, период стойкости, многослойные покрытия, напряжения, моделирование.

Key words: cutting tools, the cutting process, a period of wait-bones, multilayer coatings, stresses, modeling.

УДК 621.91.01

Введение

Одним из эффективных методов повышения работоспособности режущего инструмента является нанесение на его рабочие поверхности покрытий, как однослойных, так и многослойных [1; 2]. Эффективность их использования различна, прирост работоспособности инструмента можно

оценить лишь на основании экспериментальных исследований. Надёжных методик прогнозирования работоспособности режущего инструмента с покрытиями нет. В силу этого актуальной задачей является разработка методики прогнозирования работоспособности на этапе проектирования покрытия. В том числе важной является разработка методики проектирования покрытия под заданные условия эксплуатации режущего инструмента.

Методологическая концепция

Использован следующий методологический подход (концепция):

1. Работоспособность (например, период износостойкости) металлорежущего инструмента тем выше, чем меньше сила резания.
2. Сила резания прямо пропорционально связана с напряжениями, возникающими в режущем инструменте.
3. Следовательно, если обеспечить в режущем инструменте напряжения меньшей величины, то следует ожидать большей его работоспособности.
4. Управлять величиной напряжений можно за счёт применения тех или иных покрытий на субстрате инструментального материала, т.е. за счёт архитектурирования [3] покрытия под заданные условия его эксплуатации.
5. Проведение компьютерного моделирования инструментального материала (субстрат + покрытие) на этапе его разработки. В основе такого моделирования может лежать стремление обеспечить минимальный уровень напряжений, что должно привести к соответствующему приросту работоспособности инструмента.

Проверке адекватности этой концепции посвящена данная работа.

Зависимость между силой резания и максимальными напряжениями в режущем клине инструмента получена С. И. Петрушиным [4; 5]. Она описана следующим выражением с прямо пропорциональной зависимостью максимальных напряжений от силы резания ($\sigma_{\max} \sim P$):

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot \frac{P_y \cdot [\cos \gamma \cdot \sin(\gamma + \Theta) - \sin \alpha \cdot \cos(\alpha - \Theta) + \beta \cdot \cos \Theta] + P_z \cdot [\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \Theta) - \dots]}{r \cdot [(\sin^2 \alpha - \cos^2 \gamma) - \beta^2 + \dots \frac{\cos \gamma \cdot \cos(\gamma + \Theta - \beta \cdot \sin \Theta)}{(\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \sin \gamma \cdot \cos \gamma)^2}]},$$

где P_y – радиальная составляющая силы резания; γ – передний угол; α – главный задний угол; P_z – главная составляющая сила резания; r , Θ – полярные координаты.

При изучении распределения напряжений в режущем клине инструмента рассматривали контактные напряжения σ_z и σ_y , действующие в направлении, соответственно параллельном передней поверхности и перпендикулярном к ней.

Исследование напряженного состояния режущего клина проводилось компьютерным моделированием с использованием пакета программ ANSYS.

Рассматривали следующие инструментальные материалы: субстрат – твёрдый сплав марки ВК8; однослойное покрытие из нитрида титана TiN толщиной 5 мкм; однослойное композиционное покрытие (TiAl)N толщиной 5 мкм; трехслойное покрытие Ti+TiN+(TiAl)N общей толщиной 7 мкм; трёхслойное покрытие Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 6 мкм; трёхслойное покрытие Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 10 мкм.

Именно эти инструментальные материалы выбраны в силу того, что по ним имеются сведения в литературе, например, отдельные результаты приведены А. А. Верещакой в работе [6].

Поля (картины распределения) напряжений для таких инструментальных материалов показаны на рис. 1 и 2. Числа на полях напряжений показывают линию напряжений в мегапаскалях.

Рис. 1. Поля напряжений σ_z в режущем клине твердосплавного инструмента марки BK8:
а – без покрытия; б – с однослойным покрытием TiN толщиной 5 мкм; в – с покрытием (TiAl)N толщиной 5 мкм; г – с трехслойным покрытием Ti+TiN+(TiAl)N общей толщиной 7 мкм; д – с трехслойным покрытием Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 10 мкм; е – с трехслойным покрытием Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 6 мкм

Для проверки представленной гипотезы проведено сопоставление результатов вычисления эквивалентных напряжений с экспериментальными данными [7] по стойкости режущего инструмента с нанесёнными на него покрытиями (см. рис. 3).

Под эквивалентными напряжениями понимаем

$$\sigma_{\text{эк}} = \sqrt{\sigma_{z \max}^2 + \sigma_{y \max}^2},$$

где $\sigma_{z\max}$ – расчетные максимальные напряжения по передней поверхности режущего клина;
 $\sigma_{y\max}$ – расчетные максимальные напряжения по задней поверхности режущего клина.

Рис. 2. Поля напряжений σ_y в режущем клине твердосплавного инструмента марки ВК8:
а – без покрытия; б – с однослойным покрытием TiN толщиной 5 мкм; в – с покрытием (TiAl)N толщиной 5 мкм; г – с трехслойным покрытием Ti+TiN+(TiAl)N общей толщиной 7 мкм;
д – с трёхслойным покрытием Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 10 мкм; е – с трёхслойным покрытием Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 6 мкм

Стойкостные исследования проводились при продольном точении заготовок из стали 12Х18Н10Т. Результаты взяты для скорости резания $V = 70$ м/мин и подачи $S = 0,1$ мм/об.

Сопоставление экспериментальных данных по износостойкости инструмента с результатами моделирования максимальных эквивалентных напряжений показало обратную зависимость стойкости и эквивалентных напряжений, что означает увеличение стойкости инструмента как следствие снижения эквивалентных напряжений.

Рис. 3. Сопоставление стойкости режущего инструмента (первый ряд) и максимальных величин эквивалентных напряжений (второй ряд): 1 – BK8; 2 – TiN толщиной 5 мкм; 3 – (TiAl)N толщиной 5 мкм; 4 – Ti+TiN+(TiAl)N общей толщиной 7 мкм; 5 – Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 6 мкм; 6 – Ti+TiN+(TiAlCr)N общей толщиной 10 мкм

Выводы

1. Применение покрытий изменяет картину полей напряжений и снижает на 13 % величину максимальных напряжений из-за снижения силы резания.
2. Применяемое программное обеспечение позволяет учесть изменение архитектуры покрытия (колонны 5 и 6 на рис. 3, отличающиеся толщиной покрытия на 0,4 мкм), что влечёт за собой изменение величин максимальных напряжений на 3 % (50 МПа).
3. Кажущаяся незначительность (в 1,16 раз) изменения величин максимальных напряжений у инструмента с покрытием и без покрытия влечёт за собой существенное изменение (3,2 раза) работоспособности инструментальных материалов.
4. Для указанных условий эксплуатации наиболее эффективно применение покрытия Ti+TiN+(TiAlCr)N при общей толщине 10 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Табаков, В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / В. П. Табаков. – М.: Машиностроение, 2008. – 312 с.
2. Верещака, А. С. Методологические принципы создания функциональных покрытий для режущего инструмента / А. С. Верещака, С. Н. Григорьев, В. П. Табаков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 2. – С. 18-19.
3. Сотова, Е. С. Керамические режущие инструменты / Е. С. Сотова, А. А. Верещака, А. С. Верещака. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. – 148 с.
4. Петрушин, С. И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов: дис. ... д-ра техн. наук / Петрушин С. И. – М., 1995. – 307 с.
5. Петрушин, С. И. Оптимальное проектирование формы режущей части лезвийных инструментов: учеб. пособие / С. И. Петрушин, И. М. Бобрович, М. А. Корчуганова. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – 91 с.
6. Improvement of structure and quality of nanoscale multilayered composite coatings, deposited by filtered cathodic vacuum arc deposition method / A. A. Vereschaka, A. S. Vereschaka, A. D. Batako, B. Ja. Mokritskii, A. Y. Aksenenko, N. N. Sitnikov // Nanomaterials and Nanotechnology. – 2017. – Vol. 7. – P. 1-13.
7. Чихранов, А. В. Повышение работоспособности режущего инструмента путем разработки и применения многоэлементных износостойких покрытий на основе модифицированного нитрида титана: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Чихранов А. В. – Ульяновск, 2006. – 314 с.