

УДК 621.793

Е.Б. Сорока, к.т.н., с.н.с.**В.И. Калиниченко, к.т.н.***Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко**НАН Украины***В.С. Антонюк, д.т.н., проф.***Национальный технический университет Украины «КПИ»***С.А. Клименко, д.т.н., проф.****М.Ю. Копейкина, м.н.с.***Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля**НАН Украины*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИНСТРУМЕНТЕ, ОСНАЩЕННОМ ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ С ВАКУУМ-ПЛАЗМЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Представлены результаты численного исследования силовых напряжений, возникающих в процессе резания стали ШХ15 (60-62 HRC) инструментом, оснащённым ПСТМ на основе КНБ с вакуум-плазменным покрытием Al_2O_3-NbN .

Введение. Режущие инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ), являются в настоящее время наиболее эффективными при обработке закаленных сталей, труднообрабатываемых чугунов, напыленных и наплавленных защитных покрытий высокой твердости, процесс резания которых сопровождается температурами, превышающими 1000 °С [1, 2]. При этом проблема повышения работоспособности инструментов, оснащенных такими материалами, остается актуальной как с технической, так и с экономической точек зрения.

Одно из перспективных направлений управления работоспособностью инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, связано с нанесением на рабочие поверхности их режущих элементов защитных покрытий.

Анализ последних исследований и публикаций. Как показано в работах А.С. Верещаки [3], Ю.Н. Внукова [4], В.М. Мацевитого [5], В.П. Табакова [6], Л.Ш. Шустера [7] и других

исследователей, наличие защитного покрытия на рабочих поверхностях инструмента изменяет силы резания и условия фрикционного взаимодействия в зоне резания, обуславливая перераспределение на них контактных напряжений.

Нужно отметить, что в указанных исследованиях рассматривались режущие инструменты, оснащенные рабочей частью из быстрорежущих сталей и твердых сплавов. В каталогах ведущих фирм-производителей приводится информация о режущих инструментах, оснащенных ПСТМ на основе КНБ с покрытиями [8, 9], однако эти публикации являются рекламными.

В то же время для обеспечения высокой работоспособности режущего инструмента с покрытием важно иметь представления об особенностях контактного взаимодействия с обрабатываемым материалом и, в частности, напряженное состояние инструмента, которое оказывает непосредственное влияние на интенсивность его изнашивания и стойкость [10].

Цель настоящей работы – исследование влияния вакуум-плазменного покрытия на напряженное состояние режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, обусловленное силовым нагружением в процессе резания.

Основная часть. Наличие на контактных поверхностях инструмента защитных покрытий приводит к коренному изменению механики и физико–химии контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия. При этом для обеспечения наиболее оптимальных условий работы режущего инструмента в каждом конкретном случае должно выбираться такое покрытие, которое обеспечивает минимизацию или отсутствие эффектов, оказывающих наиболее отрицательное влияние на работоспособность режущего инструмента.

Учитывая механизм изнашивания режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, связанный с химическим взаимодействием в зоне резания [2, 11], одной из основных функций покрытия является ликвидация или снижение интенсивности взаимодействия КНБ с обрабатываемым материалом. В качестве базового принято PVD-покрытие Al_2O_3-NbN (толщина 5 мкм) с верхним слоем из оксида алюминия. Как известно, оксид алюминия является хорошим защитным слоем для поверхностей, работающих в условиях интенсивного окисления. Нитрид ниобия является материалом [12], который в условиях высоких температур может взаимодействовать с железом и никелем с образованием тройных соединений и высвобождением азота, наличие которого в зоне резания, как показано в [2, 11], снижает интенсивность взаимодействия КНБ с обрабатываемым материалом.

Для определения напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента в качестве его твердотельной модели

было принято цилиндрическое тело высотой 3,18 мм и диаметром основания 7,0 мм, которое разбивалось на конечные элементы гексагональной формы. В модели выделялся фрагмент, соответствующий рабочей части режущего инструмента, подвергающийся наиболее интенсивным нагрузкам, т.е. области контакта инструмента по передней и задним поверхностям.

В качестве допущения принималось, что режущая часть инструмента является неподвижной по отношению к заготовке. К выделенным узлам конечных элементов на рабочих поверхностях инструмента, в соответствии с эпюрой нагружения вдоль выбранных осей, прикладывались составляющие силы резания P_z , P_x , P_y . При этом общая сумма нагрузки является векторной суммой локальных нагрузок, приложенных в направлении выбранных осей в узлах конечных элементов.

Схема приложения нагрузки представлена на рис. 1. На передней поверхности инструмента силы распределены по закону треугольника с максимумом на вершине. В направлении радиуса модели силы резания имеют наибольшее значение на режущей кромке. На задней поверхности инструмента силы распределены равномерно.

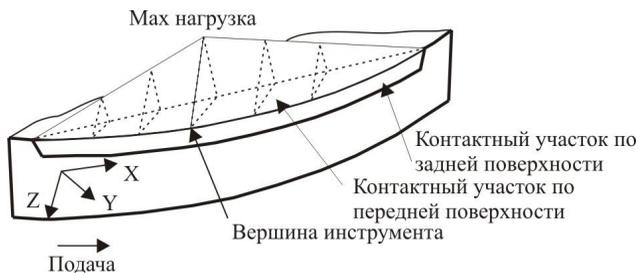


Рис. 1. Схема приложения нагрузки на инструмент

Исследования выполнялись с использованием программного комплекса MSC.VisualNASTRAN for Windows.

Физико-механические свойства материалов инструмента и покрытия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Матеріал	Модуль		Коефіцієнт Пуассона	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Теплоємність, Дж (моль·К)
	упругості E , ГПа	сдвига G , ГПа				
Al ₂ O ₃	400	161	0,24	8,5	25	36,9–129,3
NbN	400	110	0,26	6,9	10,6–16,0	48,3–64,9
BN	850	360	0,18	2,558	100	30–50

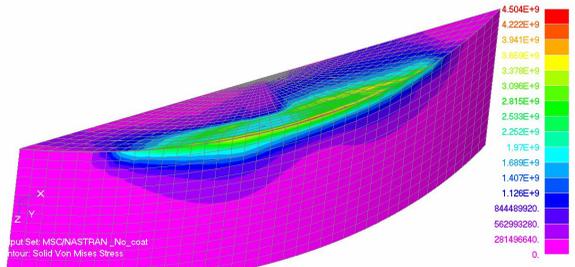
В табл. 2. представлені умови навантаження інструмента при точенні сталі (ШХ15, 60–62 HRC) резцом, оснащеним пластиною RNMN 070300. Геометричні параметри інструмента: $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = -10^\circ$; $\lambda = 0^\circ$. Під розрахунковими значеннями сил розумілися величини сил, перераховані на випадок: $\alpha = 0^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\lambda = 0^\circ$.

Таблиця 2

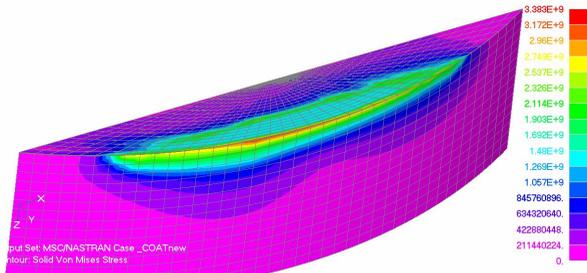
Сила, Н	Передня поверхність				
	без покриття		з покриттям Al ₂ O ₃ -NbN		
	Длина контакту, мм				
	0,15		0,2		
	ісходна	розрахункова	ісходна	розрахункова	
P_z	150	151	160	164,5	
P_y	20	89,9	40	113,3	
P_x	140	147,2	150	163	
Сила, Н	Задня поверхність				
	без покриття		з покриттям Al ₂ O ₃ -NbN		
	ісходна	розрахункова	ісходна	розрахункова	
	P_z	20	80,5	30	93,7
	P_y	350	351,4	370	375
P_x	70	181,5	80	198,5	

Сили різання вимірялися динамометром УДМ 600. Як видно з наведених даних, сили різання і довжина контакту по передній поверхності для інструмента з покриттям мають декілька більші значення, що пов'язано з збільшенням фрикційного взаємодіяння на контактних поверхностях інструмента з покриттям Al₂O₃-NbN в порівнянні з інструментом, оснащеним ПСТМ на основі КНБ без покриття. Сили різання на передній і задній поверхностях інструмента визначалися з допомогою екстраполяції експериментальних даних на нульову товщину среза.

В качестве примеров на рис. 2–4 приведены распределения эквивалентных напряжений и нормальных напряжений вдоль оси Z соответственно. Как видно из результатов моделирования, инструмент, оснащенный ПСТМ на основе КНБ с покрытием, имеет менее напряженное состояние в сравнении с инструментом без покрытия. Так, эквивалентные напряжения в инструменте с покрытием ниже на 25 % (4,5 ГПа и 3,4 ГПа соответственно), а нормальные напряжения вдоль оси Z – ниже на 30 % (1,7 ГПа и 1,2 ГПа соответственно)

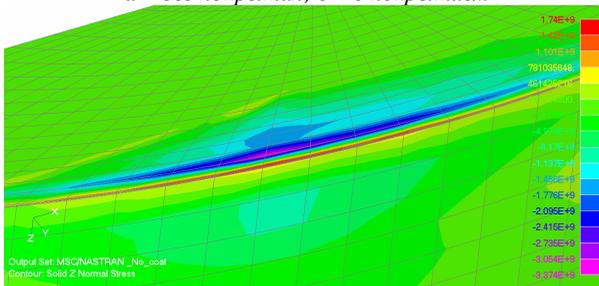


а

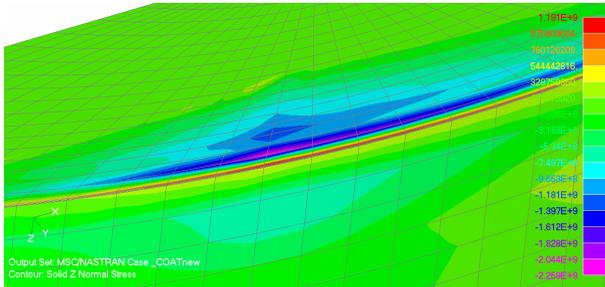


б

Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений в инструменте: а – без покрытия; б – с покрытием



а



б

Рис. 3. Распределение нормальных напряжений вдоль оси Z в инструменте: а – без покрытия; б – с покрытием

Нужно отметить, что напыленное покрытие со стороны задней поверхности оказываем менее значимое влияние на напряженное состояние инструмента (рис. 4).

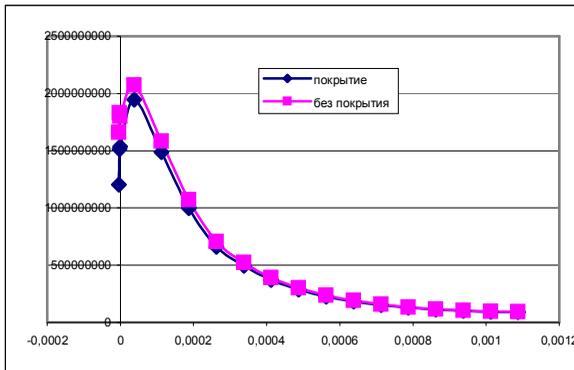


Рис. 4. Эквивалентные напряжения на задней поверхности вдоль оси Z

Анализ результатов численного моделирования напряженного состояния режущих инструментов, оснащенных ПСТМ без покрытия и с покрытием, обусловленного силовым нагружением в процессе резания, показывает (рис. 5), что нанесение покрытия Al_2O_3-NbN снижает нормальные и касательные напряжения на передней поверхности инструмента до 25 %.

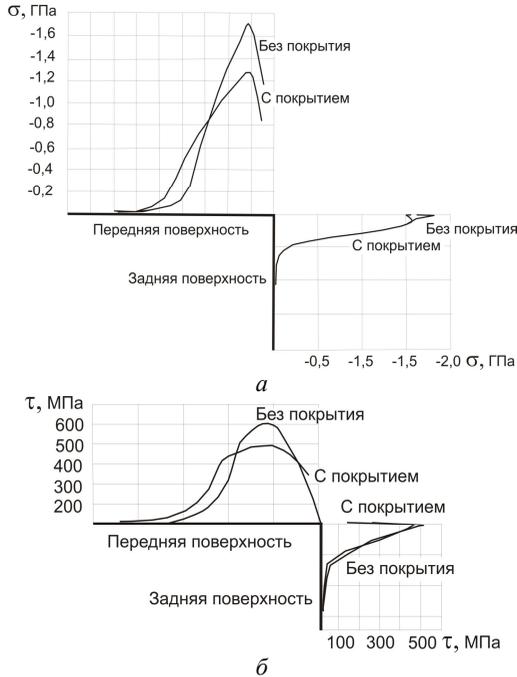


Рис. 5. Нормальные (а) и касательные (б) силовые напряжения в инструменте, оснащённом ПСТМ на основе КНБ без покрытия и с покрытием Al_2O_3-NbN

Со стороны задней поверхности нормальные и касательные напряжения также имеют меньшие значения, хотя и не столь значительно.

Вывод. Учитывая, что наиболее вероятным периодом разрушения и интенсивного изнашивания режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, является период приработки [2], можно заключить, что снижение напряженного состояния инструмента вследствие нанесения на его рабочие поверхности тонкого вакуум-плазменного покрытия, способствует повышению надежности инструмента и является эффективным средством обеспечения его работоспособности как на этапе приработки, так и в условиях резания с высокими динамическими нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М: Машиностроение, 2005.– 555 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-и т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Т.5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.
3. *Верещака А.С.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
4. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Под общ. ред. Ю.Н. Внукова – Киев: Техніка, 1992. – 143 с.
5. *Мацевитый В.М.* Покрытия для режущих инструментов. – Харьков: Вища школа, 1987. – 128 с.
6. *Табакон В.П.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 123 с.
7. *Мигранов М.Ш., Шустер Л.Ш.* Интенсификация процесса металлообработки на основе использования эффекта самоорганизации при трении. – М.: Машиностроение, 2005. – 202 с.
8. Каталог Seco. – Seco Tools AB, 2006.
9. Machining Navigator: Новости 2006 г. – Seco Tools AB, 2006.
10. *Сорока Е.Б.* Влияние параметров покрытий и остаточных напряжений на износостойкость режущего инструмента // Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте: Мат. 7-го Международ. науч.-техн. семинара, 20–22 февраля 2007, г. Свалява, Карпаты.– Киев: АТМ України, 2007.
11. Thermodynamics of the interaction in the CBN-based tool material-Fe(Ni) system / V.Z. Turkevich, S.A. Klimenko, O.G. Kulik // Transactions. – 1999. – Vol. XXVIII. – № 2. – P. 8–11.
12. *Холлек Х.* Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов: Справочник. – М.: Металлургия, 1988. – 319 с.

СОРОКА Елена Борисовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины.

Научные интересы:

- прочность материалов;
- напряженно-деформированное состояние изделий.

КАЛИНИЧЕНКО Виталий Иванович – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины.

Научные интересы:

- прочность материалов;
- напряженно-деформированное состояние изделий.

АНТОНЮК Виктор Степанович – доктор технических наук, профессор Национального технического университета Украины «КПИ».

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

КЛИМЕНКО Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

КОПЕЙКИНА Марина Юрьевна – младший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

Подано 25.07.2007