

ЛЕЗВІЙНА ОБРОБКА ІНСТРУМЕНТАМИ НА ОСНОВІ НАДТВЕРДИХ МОДИФІКАЦІЙ НІТРИДУ БОРУ

Сушко О.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

В статті проаналізовані властивості основних полікристалічних надтвердих матеріалів на основі нітриду бору, досліджені контактні процеси при різанні, вплив сили різання та температури на швидкість різання при точінні при використанні інструментів на основі щільних модифікацій нітриду бору.

Постановка проблеми. Поява в промисловості групи нових інструментальних матеріалів, якими є надтверді матеріали на основі нітриду бору, привела до революційного стрибка в матеріалообробці. Інтерес до використання інструменту з цих матеріалів не тільки не послаблюється, але з кожним роком посилюється. Це пов'язано, в першу чергу з тим, що вони мають унікальні фізико-механічні властивості, які значно відрізняються від традиційних матеріалів, що дозволяє отримати принципово нові результати в матеріалообробці. При цьому розширюються технологічні можливості металообробки, повніше використовується верстатний парк, підвищується віддача наукоємких технологій, з'являються основи для високопрецизійних робочих процесів.

Як підтверджує широка практика, найбільш ефективно застосування лезвійного інструменту з нітриду бору при обробці загартованих сталей, чавунів різної твердості, наплавлених матеріалів, що важко обробляються, високолегованих сталей і сплавів. Тут перевага надтвердих нітри-добрних матеріалів реалізується найповніше, тому дослідження явищ, які супроводжують процеси різання інструментами на основі надтвердих модифікацій нітриду бору є вельми актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Процес різання лезвійним інструментом на основі надтвердих модифікацій нітриду бору істотно відрізняється від процесу різання діамантовим інструментом, що зумовлюється його особливими фізико-механічними властивостями. Надтверді матеріали на основі нітриду бору, декілька поступаючись алмазу по твердості, характеризуються високою термостійкістю, яка досягає 1500 °С, високим опором термічним ударам і циклічним навантаженням, а також слабкою хімічною взаємодією з залізом, який є основним компонентом більшості матеріалів, що піддаються обробці різанням.

Аналіз останніх досліджень полікристалічних надтвердих матеріалів на основі нітриду бору показав, що існує декілька різновидів ПСТМ на основі нітриду бору:

- полікристали, що синтезуються з гексагонального нітриду (ГНБ) бору у присутності розчинника $\text{BN}_r \rightarrow \text{BN}_{\text{cf}}$ (типовим представником є композит 01);
- полікристали, що отримуються в результаті прямого переходу гексагональної модифікації в кубічну $\text{BN}_r \rightarrow \text{BN}_{\text{cf}}$ (композит 02);
- полікристали, які отримуються в результаті перетворення вюрцитоподібної модифікації на кубічну $\text{BN}_v \rightarrow \text{BN}_{\text{cf}}$; оскільки повнота переходу регулюється параметрами спікання, то до цієї групи відносяться матеріали з властивостями, що помітно відрізняються (композит 10, композит 09);
- полікристали, що отримуються спіканням порошків кубічного нітриду бору (КНБ) з активуючими добавками (композит 05-ИТ, кіборит та ін.).

Полікристали типу композит 01 мають дрібнозернисту структуру, домінуючою фазою якої є дрібні зерна КНБ, зрощені та взаємно пророслі з утворенням міцного агрегату. Домішки рівномірно розподілені за об'ємом зразка. Разом із основною кубічною модифікацією в них можливий частковий вміст гексагонального нітриду бору, який не прореагував. Розміри зерен і включень супутніх фаз рівні приблизно 30 мкм, пористість рівномірна, складає близько 19 % [1].

Структура полікристалу композиту ОЕ відповідно до складу початкової сировини є переважно сумішшю кубічної і вюрцитоподібної модифікацій нітриду бору. Зміна кількісного співвідношення їх в початковій суміші призводить до зміни експлуатаційних властивостей полікристалів.

Композит 10 характеризується тонкозернистою, прихованокристалічною, багатофазною структурою. Окрім вюрцитної фази, в ньому міститься в широкому діапазоні концентрацій фаза зі структурою сфалериту, можлива також графітоподібна модифікація. Розмір частинок основної фази – менше 1 мкм. Включення й домішки розміром 10-15 мкм рівномірно розподілені по всьому об'єму. Мікротвердість – в межах 30 - 50 ГПа, убуває в такій послідовності: композит 01, композит 09, композит 10. У такому ж напрямі зменшується й крихкість полікристалів, тобто зростає їх в'язкість руйнування [3].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз основних фізико-механічних характеристик існуючих ПСТМ, дослідження контактних процесів, впливу швидкості різання на сили та температуру при точінні при використанні інструментів на основі надтвердих модифікацій нітриду бору.

Основна частина. Тертя нітридоборного інструменту підкоряється законам внутрішнього тертя (тоді як алмазу по більшості оброблюваних матеріалів – законам зовнішнього тертя), оскільки на його поверхні утворюється плівка оброблюваного металу, яка міцно утримується.

Основні фізико-механічні характеристики різних марок ПСТМ на основі щільних модифікацій нітриду бору наведені в таблицях 1 та 2 [2].

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні характеристики ПСТМ на основі щільних модифікацій нітриду бору

Матеріал	Твердість, ГПа	Межа міцності при стисканні σ_c , ГПа	Межа міцності при розтяганні σ_p , ГПа	Межа міцності при вигині $\sigma_{и}$, ГПа	Коефіцієнт					Теплопровідність λ , Вт / (м·К)
					Тріщиностійкості K_{Ic} , МПа \times м ^{0,5}	Пуансона	Лінійного розширення α_1 , °С ⁻¹ \times 10 ⁶	Модуль Юнга E , ГПа	Щільність, г/м ³	
Композит 01 (ельбор-Р)	НК 35 - 37	2,7	0,44-0,46	–	3,9-4,2	0,16	–	840	3,4	60-80 (при 350-360 К)
Композит 02 (белбор)	–	4,0-6,5	–	0,7	–	–	–	720	3,5	160-180 (при 900-950 К)
Композит 05-ИТ	НК 19	2,2	0,20-0,22	0,47	4,6-6,7	–	–	620	4,0-4,3	–
Композит 10 (гексаніт-Р)	НК 30,5- 38,6	2,0-4,0	0,32	1,0-1,5	3,8-5,9	0,14-0,16	–	715	3,28	25-30 (при 360 К) 40-60 (при 950 К)
Кіборіт	НК 38-42	2,9-3,2	0,35	–	8,2	0,16	–	880	3,2	100
Боразон	HV 45	–	–	–	–	–	5,6	–	3,48	100-135
Амборіт	HV 40 НК 28	2,73	0,45	0,57	6,3	–	4,9	680	–	100
Суміборон	HV 30-35	–	–	–	–	–	4,7-5,6	–	4,2	37,8
Вюрцин	HV 30-40	–	–	0,8	13,0	–	7,9	–	–	28 (при 673 К)

Таблиця 2 – Коефіцієнт тертя ПСТМ на основі нітриду бору

Зв'язаний матеріал (твердість)	ПСТМ	
	Композит 01	Композит 30
ШХ15(НЯС 62-64)	0,12 - 0,31	0,10 - 0,21
ХВГ (ШС 62-64)	0,20 - 0,40	0,14 - 0,31

Зростання швидкості сильно зменшує величину коефіцієнту тертя нітриду бору з металами, оскільки зі зростанням швидкості підвищується температура на поверхні тертя, зменшується адгезійна взаємодія, знижується міцність зв'язку метал-метал. Температура в контакті може досягати 1000 °С і більше, коли поверхневі шари металу розм'якшуються і легко деформуються. Тому на інтенсивність зниження коефіцієнта тертя впливає й теплопровідність інструментального матеріалу: чим вона нижча, тим нижче коефіцієнт тертя за інших рівних умов. Так, при терті алмазу з латунню (зовнішнє тертя) вплив

швидкості практично відсутній, тоді як при терті нітриду бору з латунню (внутрішнє тертя) швидкість, як тепловий чинник, надає великого впливу на коефіцієнт тертя. Менш теплопровідний гексаніт-Р у контакті з латунню при менших швидкостях досягає максимуму коефіцієнта тертя [4].

Для пари нітрид бору-сталь із зростанням питомого тиску росте сила тертя, а отже, температура, яка знижує коефіцієнт тертя. При цьому зберігається відома в різанні металів закономірність - вплив коефіцієнту тертя на питомий тиск – величина постійна, тобто $\mu q = const$, що має місце тільки при внутрішньому терті.

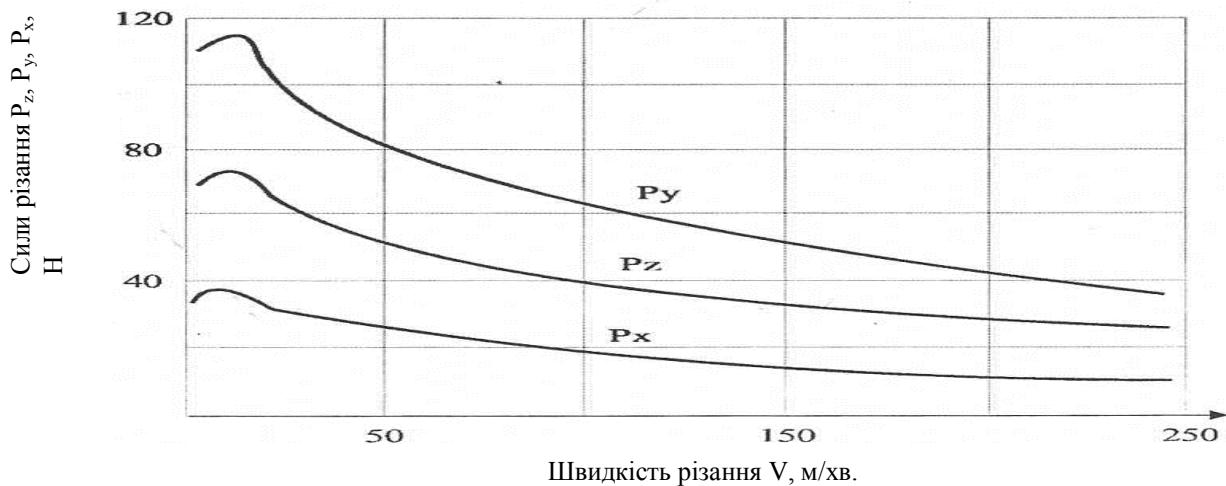


Рисунок 1 – Вплив швидкості на сили різання при точінні. Умови: подача $S = 0,05$ мм/об; глибина $t = 0,1$ мм; різці - ельбор-Р

Різання загартованих сталей лезвійним інструментом з нітриду бору супроводжується нижчим рівнем сил різання в порівнянні з обробкою традиційним інструментом. На рисунку 1 наведені залежності складових сили різання від швидкості при точінні загартованих сталей різцями з нітриду бору [5].

Усі три сили P_x , P_y , P_z змінюються по одному закону. Зі збільшенням швидкості різання вони швидко ростуть, досягаючи максимуму, і далі знижуються, спочатку інтенсивно. Зі зростанням швидкості різання інтенсивність зменшення сил різання знижується. Це пояснюється контактними процесами в зоні різання. У районі низьких значень зростання швидкості збільшує температуру різання і, отже, адгезійну взаємодію оброблюваного матеріалу з інструментом. При цьому коефіцієнт тертя в контакті росте, ростуть і сили різання.

Подальше зростання швидкості різання продовжує збільшувати температуру в контакті інструмент-оброблюваний матеріал до значень, при яких падає міцність адгезійних зв'язків із-за розм'якшення металу. Коефіцієнт тертя при цьому знижується, знижуються й сили різання. Таким чином, зниження сил викликається розігріванням зони різання до $1000-1100$ °С. При цьому радіальна складова P_y практично завжди більше головної складової – тангенціальної P_z , тобто традиційне співвідношення між складовими сили

різання порушується. Це пояснюється великими силами, що діють з боку задньої поверхні.

Дослідження сил, що діють на передню і задню поверхні різців з нітриду бору при точінні загартованих сталей, показали, що питомі навантаження на задній поверхні більші, ніж на передній, і що питома робота стружкоутворення при малій товщині зрізу менше роботи тертя на задній поверхні інструменту, що є однією з особливостей процесу різання.

Як показують дослідження, температура в зоні різання досягає 1000-1100 °С, що значно вище, ніж при традиційній лезвійній обробці. Для різних марок надтвердого нітриду бору оптимальна температура різна: для ельбору-Р вона вища, а для гексаніту-Р – нижча. На рисунку 2 наведено залежності температури різання від швидкості. З підвищенням швидкості внаслідок збільшення роботи різання і кількості тепла, що виділяється, росте й температура, але її зростання відстає від зростання швидкості різання. Це відставання посилюється в зоні високих швидкостей. На кривій $\Theta = f(v)$ можна виділити три характерні інтервали.

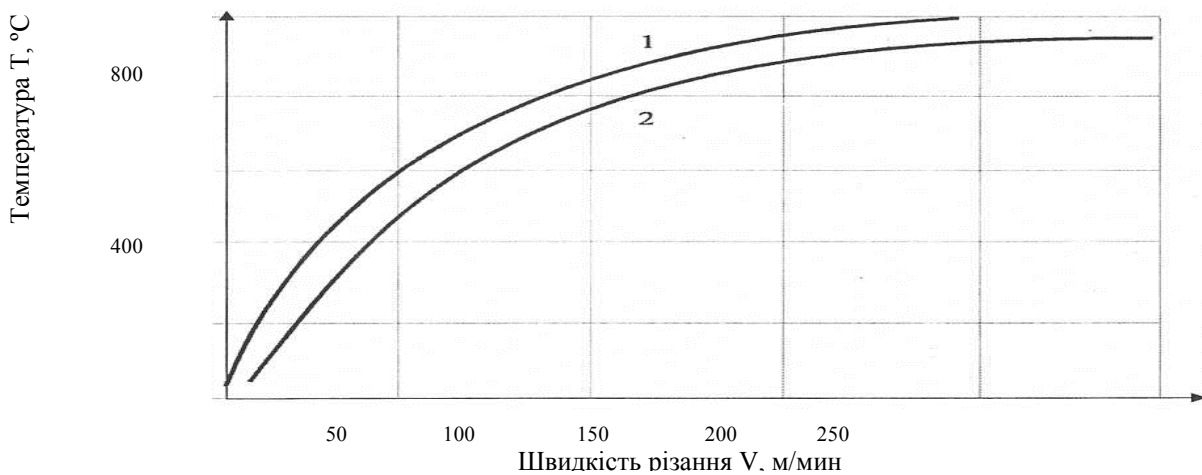


Рисунок 2 – Вплив швидкості різання на температуру при точінні. Умови: подача $S = 0,05$ мм/об; глибина $t = 0,1$ мм; різці: 1 – гексаніт-Р; 2 – ельбор-Р

У першому при низьких швидкостях різання утворюється стружка сколювання, довжина контакту якої з передньою поверхнею невелика. Але на задній поверхні із зростанням коефіцієнта тертя температура інтенсивно збільшується.

У другому діапазоні швидкостей різання оброблюваний матеріал розм'якшується, коефіцієнт тертя знижується, інтенсивність зростання температури зменшується. При великих швидкостях різання утворюється зливна стружка, інтенсивність зростання температури незначна, що пояснюється зменшенням коефіцієнта тертя, сили різання, зниженням пластичної деформації стружки та різким збільшенням тепловідводу в навколишнє середовище.

Висновки. Подальші дослідження зі встановлення впливу швидкості різання на довжину шляху різання, стійкість різців та якість обробленої поверхні дозволять замінити операції шліфування на тонке точіння інструментом з надтвердих матеріалів при виготовленні деталей, оскільки при лезвійній обробці деталі не утворюються прожоги, а стійкість інструменту з надтвердих матеріалів вища, ніж у шліфувальних кругів.

Список використаних джерел

1. Новиков Н.В., Андросов И.М., Майстренко А.Л. Методика определения прочности и трещиностойкости поликристаллических сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы. – 2002, № 2. – С. 33-37.
2. Девин Л.Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы. – 1998, № 7. – С. 24-28.
3. Винников Н.П. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов. Справочник / Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др. Под общей редакцией Н.В. Новикова. – К.: Техника, 1988. – 118 с.
4. Зубарь В.П. Перспективы применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ 2004/4, с.42).
5. Кундрак Янош. Резание при периодических нагрузках резцами из сверхтвердых материалов. Харьков-Мишкольц, 1996 – 91 с.

Аннотация

ЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАМИ НА ОСНОВЕ СВЕРХТВЕРДЫХ МОДИФИКАЦИЙ НИТРИДА БОРА

Сушко О.

В статье проанализированы свойства основных поликристаллических сверхтвердых материалов на основе нитридов бора, исследованы контактные процессы при резании, влияние силы резания и температуры на скорость резания при точении при использовании инструментов на основе плотных модификаций нитрида бора.

Abstract

INSTRUMENTS EDGE CUTTING MACHINING ON THE BASIS OF SUPERHARD MODIFICATIONS OF BORON NITRIDE

O. Sushko

The properties of main polycrystalline superhard materials on the basis of boron nitride have been analyzed in the article, the contact processes in the course of cutting, cutting force impact as well as the temperature into the cutting speed when turning using the instruments on basis of hard boron nitride modifications have been considered.