

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЁННОЙ СТАЛИ

Белозёров Р. Ф.¹, Горбунов В. П.²

1) Филиал БрГТУ «Политехнический колледж»,
г. Брест, Республика Беларусь

2) Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь

В современных условиях развития машиностроения при изготовлении деталей требуется уделять особое внимание следующим основным факторам: технологии и способу обработки деталей, оборудованию, а также инструменту. От этих трёх ключевых составляющих во многом и зависит производительность труда, эффективность производства, а, следовательно, и экономический эффект.

Можно отметить, что активно внедряемые и используемые новые методы формообразования заготовок не исключают их механической обработки в виде чистовых и отделочных операций. Вместе с тем требуется для их реализации новое высокоточное и высокопроизводительное технологическое оборудование.

При обработке закалённых цилиндрических деталей твёрдостью 50...55 НРС_Э для получения шероховатости поверхности Ra 1,25...0,63 мкм и точности 6-7 квалитета используют технологический метод обработки – шлифование. Недостатком этого процесса является высокая температура в зоне контакта инструмента и заготовки, что приводит к изменению структуры поверхностного слоя детали, а, следовательно, изменению его физико-механических свойств. Данный недостаток можно избежать применением лезвийного инструмента из сверхтвёрдого материала (далее СТМ), обработка которым заменяет процесс шлифования. Инструменты из СТМ обладают высокой твёрдостью, теплопроводностью, износостойкостью, вибростойкостью, низким коэффициентом трения. Основное распространение из сверхтвёрдых материалов получили инструменты на основе алмазов и кубического нитрида бора (далее cNB).

Инструменты на основе алмазов обладают следующими достоинствами: наивысшей твёрдостью, высокой износостойкостью и коррозионной устойчивостью. Однако при вышеперечисленных преимуществах, инструменты на основе алмазов имеют также ряд недостатков, в число которых входят недостаточная ударная вязкость, относительно небольшая теплостойкость, около 700 °С и химическая нестабильность самого алмаза при высоких температурах в присутствии материалов на основе железа. Это ограничивает применение алмаза в качестве инструмента при обработке закалённых сталей, но при этом рекомендовано использовать при обработке цветных сплавов, которые инертны к соединениям с углеродом. Также не мало важно то, что стоимость природных алмазов довольно высока. Поэтому, исходя из всего вышеперечисленного, с развитием технологий возникла необходимость разработки доступных сверх-

твердых материалов, способных работать в процессах резания с высоким нагревом в зоне контакта инструмента и заготовки.

Получение синтетического алмаза с физико-химической точки зрения представляет собой фазовое превращение углерода из графита в алмаз при высоком давлении и температуре. Для того чтобы осуществить этот процесс превращения необходимо наличие технологического оборудования, в виде больших прессовых установок, способных создавать это высокое давление и нагревать реакционные ячейки до температуры плавления стали. С технической точки зрения искусственно получить и синтезировать алмаз стало возможным только в 1953-1954 гг. Впервые синтез алмаза был осуществлен в 1953 г. в Швеции в лаборатории фирмы «АСЕА», а затем независимо повторен в США в 1954 г. в лаборатории фирмы «General Electric». Затем также независимо от других исследователей был выполнен в России в лаборатории Института физики высоких давлений Академии наук СССР [9].

Важным толчком в развитии получения абсолютно новых инструментальных материалов стало появление в 1957 году синтетического материала на основе кубического нитрида бора, получившего название «Боразон», который был получен Робертом Венторфом для компании «General Electric». В СССР кубический нитрид бора был впервые синтезирован в 1960 г. в лаборатории Института физики высоких давлений Академии наук СССР под руководством академика Л. Ф. Верещагина и получил название «Эльбор» (Ленинградский боразон) [3].

Сверхтвёрдые материалы делятся на три большие группы как указано в работе [9]. К первой из них относятся монокристаллы СТМ. Ко второй – однородные поликристаллические сверхтвёрдые материалы (далее ПСТМ). К третьей – однородные и неоднородные композиты. В качестве основных критериев классификации служат:

- 1) Характеристика структурного строения, исходя из степени кристалличности, числа фазовых составляющих и однородности структуры.
- 2) Технология получения, которая определяет основные физико-химические свойства получаемого СТМ.

В свою очередь, каждая из указанных групп делится на три подгруппы [9]. К первой подгруппе можно отнести способы, используемые для получения монокристаллической структуры. К ним относятся кристаллизация из расплава при высоком динамическом давлении и кристаллизация из расплава при высоком статическом давлении на основе углерода, а также фазовое превращение или кристаллизация из расплава при высоком динамическом давлении на основе сNB. Ко второй подгруппе можно отнести способы получения поликристаллической и композитной структур. К ним относятся горячее изостатическое прессование и спекание в газостатах как для углерода, так и сNB. К третьей подгруппе можно отнести способы получения композитной структуры при помощи лазерного облучения, плазменного осаждения, детонационного напыления на основе углерода, а также лазерное и радиационное облучение, плазменное осаждение для получения монокристаллической структуры на основе сNB.

СТМ выпускают в виде порошков или ПСТМ, а также используют в составе инструментальных композиционных материалов как наполнители.

ПСТМ используют в качестве лезвийных инструментов при точении и фрезеровании высокопрочных и высокоабразивных как металлических, так и неметаллических материалов. К металлическим обрабатываемым материалам относятся высокопрочные и закаленные стали, жаропрочные сплавы, а также различные наплавленные материалы. К группе неметаллических материалов относятся алюминиевые сплавы с высоким содержанием кремния, угле- и стеклопластики. При этом наиболее существенно различаются инструменты на основе алмаза и сNB.

Основные физико-механические свойства ПСТМ на основе алмаза и сNB представлены в таблице 1. Сравнительный анализ данных физико-механических свойств, полученных при обзоре литературных источников [8] показывает, что микротвёрдость сNB достигает максимальной отметки в 40 ГПа и практически в два раза меньше микротвёрдости алмаза, которая составляет 100 ГПа. Показатель микротвёрдости является практически единственным недостатком сNB перед алмазом. В остальном сNB имеет ряд преимуществ перед инструментом, изготовленным на основе алмаза. В число этих преимуществ входят максимальные значение предела прочности при изгибе и сжатии сNB, которые больше чем у алмаза, что даёт возможность выдерживать более высокие нагрузки, а также химическая инертность и теплостойкость сNB, составляющая 1200 К по сравнению с 800 К для алмазов, что даёт возможность обрабатывать закаленные стали, жаропрочные сплавы и наплавленные покрытия на основе металлов группы железа.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ПСТМ на основе алмаза и сNB

Физико-механические свойства		ПСТМ на основе	
		алмаза	сNB
Микротвёрдость H_{μ} , ГПа		60-100	30-40
Теплостойкость, К		800	1200
Предел прочности	при изгибе $\sigma_{и}$	0,9-1,0	0,4-1,5
	при сжатии $\sigma_{с}$	0,4-5,0	2,0-6,5

Поскольку при дальнейших исследованиях будет рассматривается точение цилиндрических деталей из закалённой стали далее будем рассматривать лезвийный инструмент из СТМ на основе сNB.

Согласно стандарту ISO 1832-2012, композиты на основе сBN делятся на три группы – ВН, ВL, ВС.

Композиты группы ВН – с количеством сBN в диапазоне 70 – 95 об. %, являются существенно монофазными, но гетерогенными по своей структуре.

К группе ВL относятся композиты с 45 – 65 об. % сBN. Матрица, дисперсность структуры которой соответствует субмикронному диапазону, мультифазна и имеет сложный химический состав на основе керамических компонент с TiN, Ti(C, N), TiC, TaN, TiB₂, Si₃N₄, SiC, МАХ-фаз.

Группа ВС объединяет композиты на основе cBN с защитными покрытиями.

Режущие инструменты из композитов систем «cBN-TiN», «cBN-TiC» (содержание cBN 50 – 55 об. %), позволяют выполнять чистовое точение закаленных сталей (ХВГ, ШХ15, 30ХГСА, 40Х, У8) при скоростях резания 180 – 270 м/мин, что обеспечивает производительность до 9000 мм³/мин.

Как показывает анализ литературных источников [8], наиболее применяемыми материалами на основе cBN являются так называемые композиты, основное обозначение и свойства которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Обозначение и основные свойства композитных материалов

Марка	Название	ТвёрдостьHV, ГПа	Теплостойкость, °С
Композит 01	Эльбор-Р	60-80	1100-1300
Композит 02	Белбор	60-90	900-1000
Композит 03	Исмит	60	1000
Композит 05	Композит	70	1000
Композит 09	ПКНБ	60-90	1500
Композит 10	Гексанит-Р	50-60	750-850

Лезвийный инструмент на основе композиционных СТМ для токарной обработки деталей выпускается в виде пластин и вставок. Согласно ГОСТ Р 50300-92 «Резцы токарные со сменными режущими пластинами из сверхтвёрдых материалов» данные резцы предназначены для тонкого, чистового и получистового точения и растачивания деталей из закаленных сталей с твердостью до 62 HRC с точностью обработки по 6-9 квалитетам на станках токарной и расточной групп, станках с ЧПУ и станках, встроенных в автоматические линии. Величина площадки износа резца по задней поверхности в зависимости от угла при вершине не должна превышать при $\epsilon \geq 90^\circ$ 0,11 мм, а при $\epsilon < 90^\circ$ 0,13 мм.

Широкое использование процесса шлифования закалённых конструкционных сталей ставит задачу замены данного вида абразивной обработки точением инструментом из композитов и назначения оптимальных режимов резания.

Таблица 3 – Рекомендуемые режимы резания при точении закалённых сталей

Марка композита	Твёрдость стали, HRC _э	Характер процесса резания	Режимы резания			Период стойкости, мин
			v, м/мин	s, мм/об	t, мм	
К01, К02	61-63	без удара	75	0,2	0,8	23
К05	52-54		75	0,1	0,8	52
К10	57-59		75	0,1	0,3	69
К10	57-59	с ударом	60	0,07	0,2	52

В дальнейшем будем рассматривать обработку закалённых сталей марок 40 и 40Х обладающими твёрдостью 50-55 НРСэ. Исходя из условий обработки и анализа данных таблиц 2 и 3 наиболее подходящими материалами режущей части инструмента будут следующие марки композитов: K05 (Композит) и K10 (Гексанит-Р). Композиты K01 и K02 в нашем случае использовать не рекомендуется, так как они предназначены для процесса обработки, который носит безударный характер и твёрдость обрабатываемого материала при этом составляет 61-63 НРСэ, что на порядок выше твёрдости наших образцов закалённой стали. В свою очередь композит K10 по сравнению с композитом K05 может работать не только безударно, но и ударно.

Целью проведения испытаний является обработка закалённой стали марок 40 и 40Х токарными резцами из композита 10 с определением оптимальных режимов резания: скорости резания, подачи и глубины, при стойкости инструмента не менее 60 минут и обеспечение шероховатости обрабатываемой поверхности не более 0,32 мкм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильева, Н. В. Применение режущих инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов для повышения экологичности и качества механической обработки / Н. В. Васильева // Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. – Пермь : Зебра, 2015. – С. 91–94.

2. Грубый С. В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора С. В Грубый., В. В. Лапшин. – М. : ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – С. 61–74.

3. Дигонский С.В. Некоторые сведения из истории синтеза кубического нитрида бора для лезвийного режущего инструмента (Часть 1). – Альтернативная энергетика и экология, 2014, № 9, с. 49–57.

4. Зубарь, В. П. Лезвийная обработка закалённых сталей и чугунов взамен шлифования [Электронный ресурс] / В. П. Зубарь, А. Г. Тимчук, М. В. Чопенко. – Режим доступа: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/20359/1/STvMS_2010_5_Zubar_Lezviynaya.pdf.

5. Клименко, С. А. Технологические возможности токарных инструментов из поликристаллических сверхтвёрдых композитов на основе cBN / С. А. Клименко // Инженер-механик. – 2017. – № 2. – С. 32-33.

6. Клименко С. А. Технологические возможности инструментов оснащённых композитами на основе кубического нитрида бора / С. А. Клименко, М. Ю.Копейкина, А. О. Чумак // «Сучасні технології в машинобудуванні». – 2017. – вип. 12. – С. 54–60.

7. Корнеев, В. М. Повышение качества изделий на этапе процесса механической обработки, В. М. Корнеева, С. С. Корнеев // Технология машиностроения – № 10. – 2014. – С. 16–20.

8. Мартиновская, О. В. Перспективы применения высокоскоростной обработки материалов на современном этапе развития отрасли / О. В. Мартиновская, В. И. Жорник // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей международной научно-технической конференции, Брест, 20–21 октября 2022 г. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 136–142.

9. Новиков Н. В. под ред. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Н.В. Новиков. - Москва : Машиностроение, 2005. - 555 с.

10. Рогов, В. А. Высокоскоростная обработка закалённых заготовок /В. А. Рогов. // Технология машиностроения. – 2014. – № 3. – С. 16–19.