

УДК 621.321

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ИЗ НИТРИДА БОРА ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.Ю. КУЛИКОВ, д-р техн. наук, А.Ю. КАРТАМЫШЕВ, асп.

**Рассмотрены вопросы резания металлов инструментами из нитрида бора. Установлены оптимальные режимы обработки. Приведены результаты исследований.**

*Ключевые слова:* кубический нитрид бора, упрочнение, электроконтакт, работоспособность, структура.

## STRUCTURE INFLUENCE ON TOOL EFFICIENCY MADE FROM BORON NITRIDE FOR ELEMENTS FINAL MACHINING STRENGTHENED BY MEANS OF ELECTROCONTACT TECHNOLOGY

M.Yu. KULIKOV, Doctor of Engineering, A.Yu. KARTAMYSHEV, Post Graduate Student

**The authors consider the metal cutting problems with nitrite boron tools. The optimal machining conditions are established. The research results are given.**

*Keywords:* cubic nitrite boron, strengthening, electric contact, efficiency, structure.

Большинство стальных деталей требуют термообработки или поверхностного упрочнения для приобретения дополнительной износостойкости и способности выдерживать значительные нагрузки. К сожалению, высокая твердость негативно отражается на обрабатываемости таких деталей. Детали зубчатых передач и различные валы и оси – типичные закаленные детали, обрабатываемые точением [1]. Термообработанные детали – тела качения, как правило, требуют чистовой и финишной обработки, которая убирает погрешности формы и обеспечивает требуемую точность и качество поверхностей. Обработка деталей после термообработки – вопрос, требующий гибкого подхода. Диапазон решений зависит от типа инструментального материала, выбранного для обработки. Для инструмента способность обрабатывать твердые материалы означает:

- высокую термостойкость;
- высокую химическую инертность;
- стойкость к абразивному износу.

Такие требования к инструментальному материалу определяются самим процессом обработки [1, 6]. При резании твердых материалов на режущую кромку оказывается высокое давление, что сопровождается выделением большого количества тепла. Большие температуры помогают процессу, приводя к разупрочнению стружки, тем самым снижая силы резания, но отрицательно влияют на инструмент. Поэтому далеко не все инструментальные материалы подходят для обработки термообработанных деталей. Так, например, для деталей с твердостью от 50 до 70 HRC рекомендуется кубический нитрид бора (КНБ) [5].

Самая неудобная для обработки резанием заготовка – это заготовка с твердостью 40–50 HRC. Твердые сплавы при работе в этом диапазоне уже не устраивают по своей термо-

стойкости. В то же время КНБ быстро изнашивается, так как из-за недостаточной твердости обрабатываемого материала на передней поверхности инструмента образуется нарост, вызывающий сколы режущей кромки при его срыве [3]. Поэтому проблема выбора инструментального материала для работы в этом диапазоне твердости решается на основе экономических соображений. В зависимости от серийности производства приходится либо мириться с низкой производительностью и размерной точностью при работе твердым сплавом, либо более производительнее работать керамикой и КНБ, но с риском поломки пластины.

Производительность при обработке закаленных материалов ранее достигалась за счет изменения конструкции инструмента и усовершенствования оборудования. Сейчас новые инструментальные материалы позволяют работать с высокими скоростями, а геометрия режущей части – достигать высоких значений рабочих подач. Кроме того, возможность обработки деталей за один установ при токарной обработке дает значительное снижение вспомогательного времени [4].

Величина подачи зависит от геометрии вершины режущего инструмента. Для инструментов с вершиной, оформленной по радиусу, подача оказывается жестко связанной с требованием обеспечения заданного качества поверхности.

Обычное значение подачи – 0,05–0,2 мм/об. Но сейчас на рынке появились пластины, именуемые Wiper, которые позволяют увеличить ее. При обработке такими пластинами значение подачи на практике может быть увеличено вдвое, причем качество поверхности не страдает. Эффект Wiper возникает за счет модификации вершины пластины и создания специальной зачистной режущей кромки большого радиуса, которая является продол-

жением основного радиуса округления. Зачистная режущая кромка обеспечивает при работе пластины минимальный вспомогательный угол в плане, что позволяет увеличивать рабочую подачу без потери качества обработанной поверхности. При увеличении подачи вдвое сокращается и путь резания, а соответственно, и износ пластины. Революционность этого решения в том, что повышение производительности достигается одновременно с увеличением ресурса инструмента.

В зависимости от дисперсности структурного состояния, КНБ можно разделить на две группы:

1) КНБ (тз) – материалы с мелкозернистой структурой (размер зерна  $d = 0,1-0,4$  мкм, т.е. нижний предел примыкает к нанообласти) (рис. 1, а);

2) КНБ (кз) – материалы с крупнозернистой структурой ( $d = 2-10$  мкм) (рис. 1, б) [5, 6].

Структуры первого типа образуются из наноструктурированного нитрида бора в процессе твердофазного превращения с участием динамической первичной рекристаллизации. Низкотемпературная стадия рекристаллизации протекает на этапе незавершенного фазового перехода и ее движущая сила определяется совместным действием внешней нагрузки и фазового наклепа [7].

Структура КНБ (кз) формируется на этапах интенсивной собирательной рекристаллизации при температурах выше 2770 К ( $p \gg 8$  ГПа). Плотность КНБ (кз) приближается к теоретической и составляет  $\sim 3,48$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует пористости материала около 0,06 %, которая, очевидно, обусловлена дисперсным порообразованием в границах [4].

Одним из наиболее ярких свидетельств различия физико-механических свойств наноструктурированного КНБ, монокристаллов и материалов на основе КНБ является отличие их прочностных характеристик.

Кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» в рамках апрорбации результатов диссертационной работы на тему «Повышение эффективности чистовой токарной обработки восстановленных и упрочненных деталей методами электроконтактных технологий» были проведены стойкостные испытания сменных пластин на основе кубического нитрида бора:

1) КНБ (тз) – материалы с мелкозернистой структурой (размер зерна  $d = 0,1-0,4$  мкм, т.е. нижний предел примыкает к нанообласти);

2) КНБ(кз) – материалы с крупнозернистой структурой ( $d = 2-10$  мкм).

Обрабатываемая деталь – цилиндрическая заготовка диаметром 79,6 мм до наварки (84,75 мм после наварки), общая длина заготовки 480 мм (длина наваренного слоя 370 мм).

Материал заготовки – сталь 15Х (ГОСТ 4543). Твердость детали до наварки – 150–155 НВ.

На поверхность детали методом электроконтактной наварки (ЭКНП) на установке модели УЭКТ-2П.ТВ нанесена проволока диаметром 1,6 мм. Тип проволоки – пружинная проволока повышенной прочности (2 класс) марки Б. Марка проволоки – 75 (химический состав по ГОСТ 14959, а механические свойства по ГОСТ 9398). Средняя твердость наваренного слоя – 64–67 HRC.

Вид обработки – наружное продольное точение. Твердость поверхности после механической обработки – 60–65 HRC.

Металлорежущее оборудование – токарно-винторезный станок модели 16К20ПФ1.

До механической обработки поверхность заготовки имела колебание припуска в продольном направлении (макронеровности с шагом наварки 2,4–2,5 мм) и твердую поверхность металлическую окалину с повышенными истирающими свойствами.

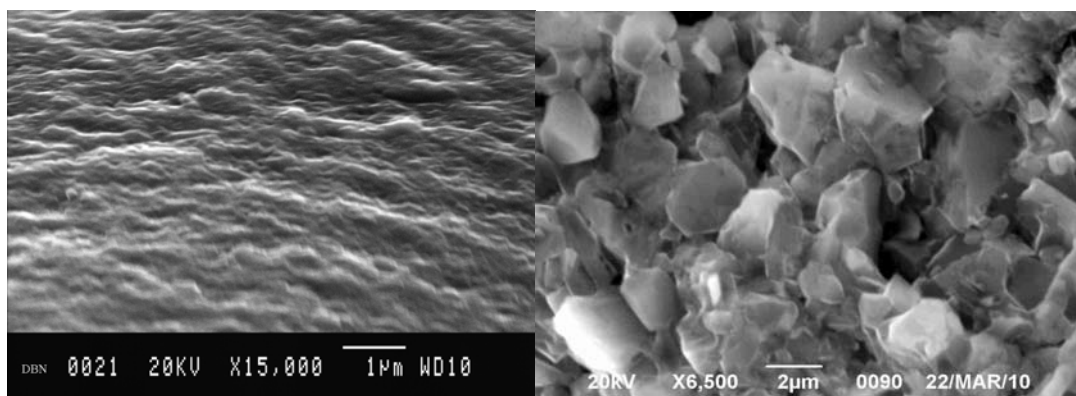
Режущий инструмент – технически исправные резцовые державки MCLNP 2525M12 (с механическим креплением сменных пластин). Форма режущих пластин – CNMA 120408T.

Критерий затупления инструмента (технологический) – обеспечение требуемой точности обработки и шероховатости поверхности, что коррелирует с износом по задней поверхности инструмента.

В первом случае резание проводилось пластиной с крупнозернистой структурой КНБ ( $d = 2-10$  мкм) с врезанием в основной слой наваренного металла:

- рабочая подача 0,06 мм/об;
- частота вращения 450 об/мин;
- скорость резания 64 м/мин.

Шероховатость поверхности после обработки пластиной из КНБ (на заданных режимах резания) составляет  $R_a = 0,76-0,85$  мкм.



а)

б)

Рис. 1. Фотография структуры кубического нитрида бора: а – с мелкозернистой структурой; б – с крупнозернистой структурой [2, 4, 7]

Во втором случае резание проводилось пластиной с мелкозернистой структурой (размер зерна  $d = 0,1-0,4$  мкм, т.е. нижний предел примыкает к нанобласти) также с врезанием в основной слой наваренного металла:

- рабочая подача 0,09 мм/об;
- частота вращения 800 об/мин;

– скорость резания 64 м/мин.

Шероховатость поверхности после обработки пластиной из КНБ (на заданных режимах резания) составляет  $R_a = 0,65-0,72$  мкм.

На основании полученных результатов были построены сравнительные диаграммы для обеих пластин (рис. 2).

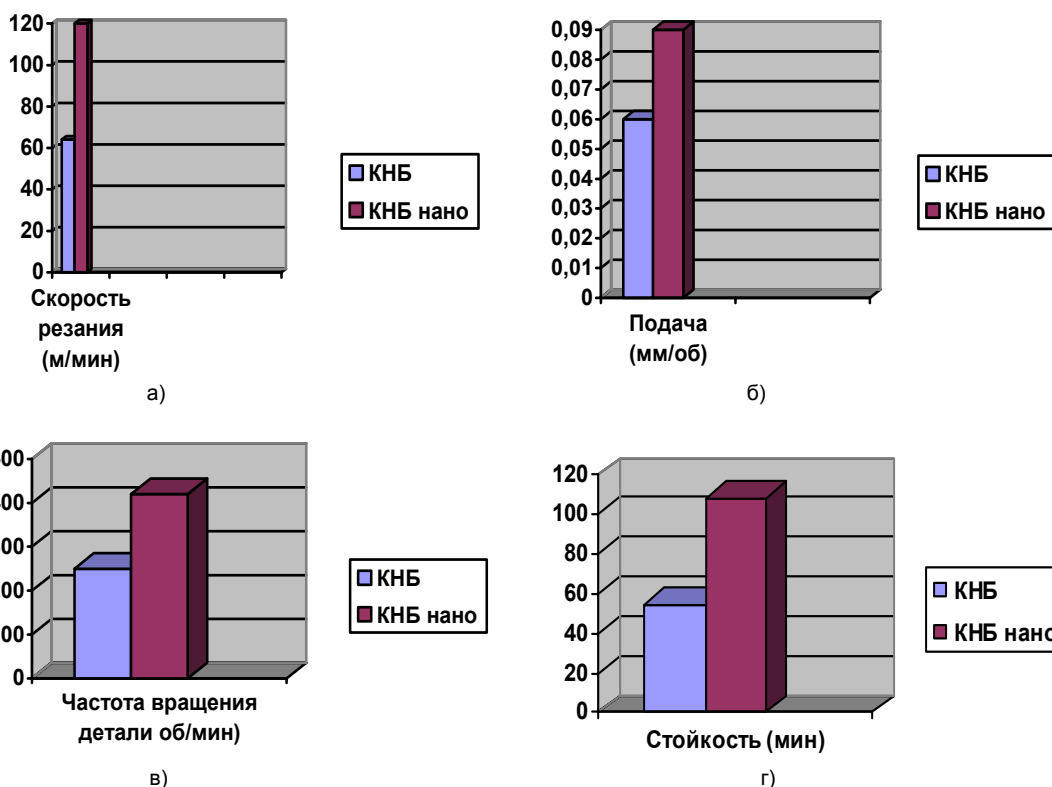


Рис. 2. Сравнительные диаграммы исследования резания пластинами двух типов: а – скорость резания; б – подача; в – частота вращения детали; г – стойкость

Анализ доступной информации по данному направлению развития nanoиндустрии показал, что описанные выше работы и тенденции поиска необходимых решений пока не вышли за рамки лабораторных исследований и экспериментов, поэтому говорить о массовом внедрении полученных результатов в практику не приходится. Тем не менее отдельные уже достигнутые результаты исследований могут приниматься в промышленную разработку и

подтягивать за собой общую инфраструктуру производства, включающую разработку нормативно-технической документации, стандартизацию понятий, технологий, систему показателей и контроля параметров и т.д.

Внедрение наноструктурированных композиционных материалов на основе кубического нитрида бора предусматривает последовательное решение ряда взаимосвязанных задач:

– анализ технической доступности и проработанности проблем производства в промышленных масштабах различных видов наноструктур композиционных материалов;

– разработку технологий промышленного производства нанокompозитов на основе кубического нитрида бора с созданием системы контроля качества и декларированных эксплуатационных характеристик;

– разработку нормативно-технической и конструкторско-технологической документации;

– решение вопросов сертификации, лицензирования, патентования и защиты интеллектуальной собственности;

– разработку научно-технических принципов создания нанокompозитов с заданными свойствами: физико-математическое моделирование, химический анализ и фотометрическое структурирование, анализ воздействия физических полей и т.п.

#### Список литературы

1. **Алексеев Г.А.** Перспективы применения инструментов из эльбора-Р в машиностроении // Станки и инструмент. – 1972. – № 2. – С. 32–36.
2. **Богородский Е.Г., Подураев В.Н.** Режимы резания высокопрочных и закаленных сталей инструментами, оснащенными ПНБ // Вестник машиностроения. – 1972. – № 3. – С. 42–46.
3. **Горелик В.М.** Возможность применения поликристаллов твердого нитрида бора в многолезвийном инструменте / Резание и инструмент. Вып. 10. – Харьков: Высш. шк., 1974.
4. **Зубарь В.П.** Особенности износа и стойкости резцов из эльбора при тонком точении закаленной стали 110 / Резание и инструмент. – Харьков: Высш. шк., 1974.
5. **Кондратьев В.А.** Работоспособность резцов, оснащенных поликристаллами кубического нитрида бора // Синтетические алмазы. – 1973. – С. 12–14.
6. **Solozhenko V.L., Petrusha I.A., Engler O., Bingert J.F.** The crystallographic texture of graphite-like and diamond-like boron nitride bulk materials // J. of Materials Science. 36, 2001, 2659.
7. **Маринин Г.В., Малышев С.Н., Захаревич Е.М.** Нанорезание закаленной стали // Металлообрабатывающее оборудование. – 2008. – № 8. – С. 18–21.

Куликов Михаил Юрьевич,  
ГОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ),  
доктор технических наук, профессор кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,  
телефон (495) 631-18-50,  
e-mail: muk.56@mail.ru

Картамышев Андрей Юрьевич,  
ГОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ),  
аспирант кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,  
телефон (495) 631-18-50,  
e-mail: Kartamishev@list.ru