

УДК 621.9.015

С. А. Клименко, д-р техн. наук, **М. Ю. Копейкина**, **А. С. Мановицкий**, **Ю. А. Мельничук**,
кандидаты технических наук; **А. С. Манохин**

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ТОЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕННЫМ ПСТМ

В статье показаны преимущества инструментальных поликристаллических материалов на основе алмаза и кубического нитрида бора, используемых в резах для точения труднообрабатываемых материалов. Приведены оптимальные режимы резания отбеленных и легированных чугунов, закаленных и марганцовистых сталей твердостью 60–63 HRC, напыленных газопламенных и наплавленных покрытий, а также цветных сплавов и неметаллических материалов, таких как двуокись алюминия, силицированный графит, полимерные композиты, упрочненные углеродным или стекловолокном.

Ключевые слова: алмаз, кубический нитрид бора, поликристаллический материал, покрытия.

Для лезвийной обработки деталей из материалов высокой твердости (закаленных сталей, чугунов, наплавленных и напыленных твердых покрытий) эффективно применение резцов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (ПКНБ). Они обеспечивают шероховатость R_a 0,32–0,63, что в ряде случаев позволяет исключить шлифование. Такая технология получила название «твердое точение». В сравнении со шлифованием «твердое точение» повышает производительность в 3–4 раза, существенно снижает энерго- и трудозатраты, расходы на оборудование и инструмент, повышает экологическую безопасность производства.

Из ПСТМ на основе синтетического алмаза (ПКА) в современном производстве наиболее широко применяют двухслойные композиты при оснащении режущего инструмента для обработки цветных металлов и сплавов, изделий из керамических, металлокерамических, древесностружечных, полимерных материалов, гранита и песчаника.

В ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработали гамму ПСТМ и композитов, организовали производство сменных многогранных неперетачиваемых пластин (СМНП) из них и инструментов на их основе. СМНП из ПКНБ – киборит, борсинит, ПКА – АТП, АКП выпускаются в соответствии со стандартом ISO 1832-85.

Обработка закаленных сталей. Режущие инструменты, оснащенные ПКНБ борсинит, эффективно обрабатывают, допуская удары, детали из закаленных сталей твердостью 60–63 HRC со скоростью резания 2,5–3,0 м/с.

Режущие пластины SNMN 090306 и 120408 позволяют реализовать при обработке длинномерных деталей из закаленной стали ШХ15 технологию «бреющего точения», при которой обработка производится с подачей до 1 мм/об и обеспечивается поверхность шероховатостью R_a 0,5–1,2. Использование квадратных СМНП обеспечивает 8 периодов стойкости по 40–90 мин, что позволяет выполнять обработку крупногабаритных изделий.

В сравнении с чистовым точением бочки прокатного валка из стали 9ХС (55–58 HRC) инструментом, оснащенный ПКНБ Композит 10 или керамикой ВОК 71, разработанный инструмент и технология «бреющего точения» обеспечивают повышение объемной производительности и поверхностной производительности обработки соответственно в 3,4 и 8,4 раза.

Обработка высокомарганцовистой стали 110Г13Л. Высокомарганцовистые стали характеризуются высокой степенью упрочнения под действием контактных нагрузок, что обуславливает их низкую обрабатываемость резанием. Для обработки деталей из литой стали 110Г13Л разработали круглые пластины из ПСТМ киборит, которые позволяют эффективно обрабатывать различные поверхности, как по корке, так и после ее удаления. При точении по корке со скоростью резания 1,20–1,67 м/с, подачей 0,3–0,4 мм/об и глубиной резания 8–9 мм стойкость резца с ПСТМ составляет 120–180 мин. Торцевая поверхность с неровностями от плазменной отрезки литников обрабатывается со скоростью резания 0,7–0,8 м/с, подачей 0,25–0,35 мм/об и глубиной резания до 6–7 мм. Стойкость инструмента составляет 60–90 мин.

Полная обработка брони конусной дробилки из стали 110Г13Л производится одним инструментом с круглой пластиной RNUN 190700Т при использовании всей рабочей длины ее режущих кромок (10–12 периодов стойкости), без СОТС и введения в зону резания дополнительных видов энергии. Сравнение обработки брони твердосплавным инструментом, твердосплавным инструментом с плазменным подогревом (ПМО) и инструментом с ПКНБ показывает, что в последнем случае в 5–7 раз повышается производительность обработки и в 2–3 раза стойкость инструмента по сравнению с обработкой твердосплавными резцами; – производительность обработки приближается к производительности ПМО при меньшем расходе энергии и лучших условиях труда.

Обработка напыленных и наплавленных деталей. Номенклатура деталей, восстанавливаемых и упрочняемых методами наплавки и напыления, включает валки прокатных станов, конусы и чаши засыпных устройств, детали запорной аппаратуры БЗУ, правильные ролики и ролики рольгангов, различные валы и оси, другие детали. При их точении высокую работоспособность имеют инструменты, оснащенные ПСТМ. Выполняется как чистовая обработка, так и точение непосредственно по дефектной корке покрытия. Результаты промышленных испытаний показали, что резцы с ПКНБ успешно обрабатывают детали, восстановленные напылением с последующим оплавлением покрытий из порошков ПС-12НВК2-01 (65 % ПГ-10Н-01 + 35 % WC), ПГ-СР3, ПГ-СР4, ПГ-ХН80С4Р4, ПН85Ю15, а также напылением проволоками 65Г, 40Х13 и другими материалами.

Инструменты, оснащенные ПКНБ, позволяют эффективно обрабатывать детали с напыленными аморфно-кристаллическими покрытиями систем Fe–B, Fe–Cr–B, Fe–Si–B.

В условиях ремонтных цехов металлургических предприятий провели исследования по точению покрытий, полученных электродуговой наплавкой порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3СФ (46–52 HRC), ПП-Нп-25Х5ФМС (45–50 HRC), ПП-Нп-30Х4Г2М (52–58 HRC), спеченными лентами ЛС-70Х3НМ (54–56 HRC), ЛС-5Х4В3МФС (45–50 HRC), порошковой лентой ПЛ-АН 111 (48–55 HRC), плазменной наплавкой порошками ПГ-СР3 (47–52 HRC), ПГ-СР4 (54–58 HRC), ПГ-СР5 (60–62 HRC), печной наплавкой композиционным материалом релит-мельхиор. Из гаммы инструментов, оснащенных твердыми сплавами групп ТК, ТТК и ВК, керамикой ВOK72, кортинит и силинит-Р, ПСТМ на основе КНБ Томал 10, Композит 10, киборит и борсинит наивысшую работоспособность имеют инструменты, разработанные ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Обработка деталей из отбеленного чугуна. Прокатные, мельничные, каландровые и другие виды валков из отбеленного чугуна изготавливают с твердостью бочек 2350–6200 МПа (37–85 HS). На многих заводах для их обработки используют высокоточные вальцетокарные станки с ЧПУ фирмы «Геркулес» и других зарубежных фирм. Эти станки оснащаются резцами с механическим креплением круглых пластин из режущей керамики, которые обрабатывают прокатные валки из отбеленного чугуна с режимами резания: $v = 0,3–0,4$ м/с; $S = 0,12$ мм/об; $t = 0,3–0,5$ мм. Стойкость пластин составляет 1–2 прохода по бочке валка.

В ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины для точения валков специально разработали режущие пластины (RB, C, PMH) из ПКНБ и оригинальную конструкцию резца с механическим креплением. Конструкция обеспечивает возможность работы при резании на дуге более 180°. Черновые и чистовые проходы выполняют без переустановки СМНП. Сравнение результатов испытаний резцов с ПКНБ с керамическими резцами показало значительное преимущество первых: по производительности обработки – в 4–5 раз; – по стойкости – в 2,9–3,4 раза.

Инструмент с СМНП из ПКНБ позволяет обрабатывать валки как по бочке, так и по ручьям со следующими режимами резания: скоростью резания – 1,2 м/с на черновых проходах и 1,4 м/с на чистовом; подаче – 0,2 мм/об; глубине резания – 1,5 мм на черновых проходах и 0,2 мм на чистовом. При работе с указанными режимами без переустановки режущей пластины полностью обрабатывается прокатный валок, т.е. период стойкости пластины составляет 125 мин. Инструментом, оснаренным одной круглой пластиной, обрабатывают по бочке и ручьям 2–3 валка.

Обработка деталей из твердого сплава. Инструмент, оснащенный ПСТМ борсинит, позволяет обрабатывать арматуру прокатных валков из твердых сплавов ВК25, ВК30. При скорости резания 0,2–0,3 м/с режущий инструмент до износа по задней поверхности 0,25 мм обрабатывает 3 детали по 120 мм с пятью ручьями в каждой.

Обработка деталей из титановых сплавов. Титановые сплавы обрабатывают при сравнительно высокой температуре в зоне резания, что обусловливается их низкой теплопроводностью и особенностями протекания процесса точения.

При обработке титанового сплава ВТ3-1 инструменты с АКП сохраняют работоспособность в широком диапазоне скорости резания. При режимах резания $V = 1,5$ м/с; $S = 0,11$ мм/об; $t = 0,1$ мм стойкость инструмента ($h_z = 0,2$ мм) составляет 55–60 мин.

Регрессионные зависимости интенсивности изнашивания инструмента от подачи и глубины резания следующие: $i = -0,071 + 113,82 S$; $i = 26,07 + 19,16t$ (коэффициенты корреляции – 0,99 и 0,96).

Влияние геометрических параметров инструмента с АКП (АСМ 60/40, $\varnothing 12,7$ мм) на скорость его изнашивания изучено при обработке титанового сплава ВТ14. Установлено, что зависимость скорости изнашивания инструмента от переднего и заднего углов при обработке инструментом, оснащенным круглыми пластинами, носит экстремальный характер. Оптимальными являются геометрические параметры инструмента $\gamma = -(3-5^\circ)$; $\alpha = 8-12^\circ$. Использование инструмента, оснащенного АКП ($V = 1,5-2,0$ м/с; $S = 0,05$ мм/об; $t = 0,15$ мм), при обработке титанового сплава ВТ14 позволяет стабильно получать детали с шероховатостью обработанной поверхности $R_a 0,46-0,52$.

Скорость резания при фрезеровании титана является основным параметром, определяющим стойкость инструмента. Применение инструмента, оснащенного ПКНБ, позволяет обрабатывать сплав ВТ22 со скоростью резания более 60 м/мин. Максимальная стойкость такого инструмента составляет 100–120 мин. При этом стабильно формируется шероховатость обработанной поверхности $R_a 0,2-0,4$.

Применение при фрезеровании титанового сплава концевой фрезой, оснащенной пластинкой из ПКНБ, СОТС Трибол, повышает стойкость инструмента в 2,5–3 раза.

Обработка деталей из цветных металлов и сплавов. Одной из областей применения инструмента с ПКА является обработка алюминиево-кремниевых сплавов (силуминов) с содержанием 11–26 % Si. Твердосплавные режущие инструменты быстро разрушаются находящимися в этих материалах абразивными частицами кремния. Чередование твердой и мягкой структур обуславливает неравномерное нагружение инструмента, способствуя его изнашиванию и поломке. Применение при обработке алюминиевых поршней инструментов с ПКА позволяет в 100–300 раз повысить их стойкость по сравнению со стойкостью твердосплавных резцов, а также повысить производительность обработки.

Шероховатость обработанной поверхности $R_a \leq 0,8$ мкм достигается при износе инструмента $h_z \leq 0,05-0,1$ мм после точения 2000–7000 поршней, что соответствует 40–110 м² обработанной поверхности или 2500–9000 мин машинного времени.

Обработка деталей из неметаллических материалов. Широкое использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) ограничивается в связи с большими затруднениями, возникающими при их механической обработке. Это связано с их низкой теплопроводностью и тем, что в качестве наполнителей в ПКМ используют полимерные, органические, неорганические твердые и механически прочные наполнители.

В процессе резания ПКМ теплопроводность инструментального материала в значительной мере определяет температуру в зоне резания и качество обработки изделий. ПКА, отличающиеся от других инструментальных материалов максимальной теплопроводностью и высокой стабильностью геометрических параметров режущей кромки, обеспечивают низкую температуру в зоне резания, наиболее высокие показатели качества обработанной поверхности, стойкость инструмента и производительность обработки.

Вследствие сильного изнашивающего действия ПКМ, их специфических физико-механических и технологических свойств для оснащения инструмента следует выбирать наиболее износостойкие инструментальные материалы на основе алмаза. При этом необходимо учитывать, что существенно меньшие силы резания, чем при обработке металлов, позволяют использовать инструмент из ПКА при значительной по абсолютной величине подаче (до 1,2 мм/об) и глубине резания (до 7–8 мм при размере пластины 12,7 мм, т. е. до 0,5–0,6 длины режущей кромки). Стойкость инструмента из ПКА при обработке полимерных композиционных материалов достигает 300 мин.

Перспективной областью применения поликристаллического алмаза является обработка трудно поддающихся резанию и вызывающих быстрый износ инструмента таких материалов, как древесностружечные композиты средней плотности с высоким содержанием клея, с покрытиями на основе меламиновой смолы, декоративный бумажно-слоистый пластик, а также другие материалы, структурные составляющие которых обладают абразивным действием. Такие материалы разрезают при скорости резания 0,50–1,16 м/с, инструмент из ПКА имеет стойкость, в 200–300 раз превышающую стойкость твердосплавных инструментов.

Инструмент, оснащенный ПКА, перспективен для точения детонационных керамических покрытий на основе Al_2O_3 (Al_2O_3 (100 %) и Al_2O_3 (85 %) + Ti2 (15 %)), твердостью 80–84 HRA. Резуль-

таты анализа экспериментальных зависимостей скорости изнашивания инструментов, оснащенных АКП и АТП, от скорости резания при точении покрытия с Al_2O_3 показывают, что при скорости резания до 0,9 м/с оба инструмента ведут себя аналогично. При скорости резания до 1,2 м/с более работоспособен инструмент, оснащенный АКП.

Инструменты, оснащенные ПКА, показали высокую работоспособность при обработке деталей, изготовленных из силицированного графита. Высокие производительность обработки и стойкость инструмента обеспечиваются при режимах резания $V = 0,8-1,0$ м/с; $S = 0,14-0,17$ мм/об; $t = 0,1-0,25$ мм.

Детали из углеродистого графита обрабатывают алмазным инструментом со скоростью резания 3,3–5,0 м/с.

Приведенные примеры показывают высокую эффективность и широкие возможности инструментов, разработанных и выпускаемых в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, при точении деталей из широкой гаммы труднообрабатываемых материалов.

В статті показані переваги інструментальних полікристалічних матеріалів на основі алмазу і кубічного нітриду бору, які використовуються в різцях для точіння важкооброблюваних матеріалів. Наведено оптимальні режими різання вибілених і легованих чавунів, загартованих і марганцевистих сталей твердістю 60–63 HRC, напилених газополумєневих та наплавлених покриттів, а також кольорових сплавів і неметалічних матеріалів, таких як двоокис алюмінію, силицированного графіт, полімерні композити, зміцнені вуглецевим чи скловолокном.

Ключові слова: алмаз, кубічний нітрид бору, полікристалічний матеріал, покриття.

The advantages of Diamond and cubic Boron Nitride Super-Hard Polycrystalline Materials as tool goods for equipping of cutters for hard-to-machine materials turning are described in the article. The optimized cutting regimes of turning of alloyed cast iron, hardened and Manganese steels of 60–63 HRC hardness, electric welded and plasma-flame spattered coatings as well as color alloys and non-metallic alumina, silicon graphite, reinforced with glass and carbon fibers composites and polymer materials are presented.

Key words: diamond, cubic boron nitride, polycrystalline materials, coatings.

Поступила 07.06.11

УДК 621.922.079

Р. С. Шмегера

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н.Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИНТЕНСИВНОЕ ЭЛЕКТРОСПЕКАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Исследовано влияние наличия жидкой фазы на кинетику интенсивного электроспекания и механические свойства ряда никелевых сплавов. Показано, что использование Sn в качестве активатора жидкой фазы позволяет производить алмазосодержащие композиты на металлической связке более высокой прочности и твердости в сравнении с обычным твердофазным электроспеканием.

Ключевые слова: алмазный композит, металлическая связка, электроспекание.

Традиционными методами производства алмазосодержащих композитов на металлической связке являются горячее прессование, горячее изостатическое прессование и свободное спекание (напр., [1, 2]). Указанные методы имеют один общий недостаток – длительное высокотемпературное воздействие на кристаллы алмаза, вызывающее их графитизацию и снижение прочности. Более перспективным для создания высокоэффективных алмазосодержащих композитов представляется метод интенсивного электроспекания (ИЭС), состоящий в быстром (в течение нескольких секунд) нагревании образца путем прямого пропускания электрического тока с одновременным приложением давления до 300 МПа. Преимущество данного метода состоит в том, что он позволяет получать высокопрочные композиты с низкой остаточной пористостью при сохранении исходных свойств алмазных частиц [3].

Одним из основных факторов, определяющим эксплуатационные характеристики алмазного композита, относится структурное состояние и обусловленные им физико-механические свойства