

этого, прежде всего, нужно рассматривать проблему создания режущих инструментов и процессов механической обработки как актуальную задачу современного материаловедения, решение которой направлено на обеспечение прогресса металлообработки и машиностроения в целом.

### **ТОЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕННЫМ ПСТМ**

*Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Мановицкий А.С.,  
Мельничук Ю.А., Манохин А.С.*

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины*

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 Ra 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, позволяет существенно снизить энерго- и трудозатраты, расходы на оборудование и инструмент, повышает экологическую безопасность производства.

Из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе синтетического алмаза (ПКА) в современном производстве наиболее широкое применение нашли двухслойные композиты, которые используются 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 разработана гамма поликристаллических сверхтвердых материалов и композитов, организовано 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 до 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 подачами до

1 мм/об и обеспечивается получение поверхности с шероховатостью Ra 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, оснащенным ПКНБ «композит 10» или керамикой ВОК 71, разработанный инструмент и технология «бреющего точения» обеспечивает повышение объемной производительности и поверхностной производительности обработки в 3,4 и 8,4 раза соответственно.

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 разработаны круглые пластины из ПСТМ «киборит», которые позволяют эффективно обрабатывать различные поверхности как по корке, так и после ее удаления. При точении по корке со скоростями резания 1,20–1,67 м/с, подачами 0,3–0,4 мм/об и глубиной резания до 8–9 мм стойкость резца с ПСТМ составляет 120–180 мин. Обработка торцевой поверхности с неровностями от плазменной отрезки литников производится со скоростями резания 0,7–0,8 м/с, подачами 0,25–0,35 мм/об и глубиной резания до 6–7 мм. Стойкость инструмента составляет 60–90 мин.

Полная обработка брони из стали 110Г13Л конусной дробилки производится одним инструментом с круглой пластиной RNUN 190700Т, используя всю рабочую длину ее режущих кромок (10–12 периодов стойкости), без СОТС и без 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 увеличивается стойкость инструмента по сравнению с обработкой твердосплавными резцами; – производительность обработки приближает 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, ряд других деталей. При их точении высокую работоспособность имеют инструменты, оснащенные ПСТМ. Выполняется как чистовая обработка, так и точение непосредственно по дефектной корке покрытия. Промышленные испытания показали, что резцы с ПКНБ позволяют успешно обрабатывать детали, восстановленные напылением с последующим оплав-

лением 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 предприятиях проведены 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 ВОК72, кортинит и силинит-Р, ПСТМ на основе КНБ томал 10, композит 10, киборит и борсинит наибольшую работоспособность имеют инструменты, разработанные ИСМ НАН Украины.

Обработка деталей из отбеленного чугуна. Прокатные, мельничные, каландровые и другие виды валков из отбеленного чугуна изготавливаются с твердостью бочек 2350–6200 МПа (37–85 HS). На многих заводах для их обработки используются высокоточные вальцетокарные станки с ЧПУ фирмы «Геркулес» или 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:  $v = 0,3\text{--}0,4$  м/с;  $S = 0,12$  мм/об;  $t = 0,3\text{--}0,5$  мм. Стойкость пластин составляет 1–2 прохода по бочке валка.

В ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины для точения валков специально разработаны режущие пластины (РВ,С,РМН) из ПКНБ и оригинальная конструкция резца с их механическим креплением. Конструкция обеспечивает возможность работы при резании на дуге более 180°. Черновые и чистовые проходы выполняются 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 с режимами резания: скорость резания – 1,2 м/с на черновых проходах и 1,4 м/с на чистовом проходе; подача – 0,2 мм/об; глубина 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 составля-

ет 125 минут. Инструментом, оснащенным одной круглой пластиной, обрабатывается 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 работе со скоростями резания 0,2–0,3 м/с режущий инструмент до износа по задней поверхности 0,25 мм обрабатывает 3 детали по 120 мм с 5-ю ручьями в каждой.

Обработка деталей из титановых сплавов. Обработка титановых сплавов происходит при сравнительно высоких температурах в зоне резания, что обуславливается их низкой теплопроводностью и особенностями протекания процесса точения.

При обработке титанового сплава ВТ3-1 инструменты с АКП сохраняют свою работоспособность в широком диапазоне скоростей 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 минут.

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

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

Скорость резания при фрезеровании титана является основным параметром, определяющим стойкость инструмента. Применение инструмента, оснащенного ПКНБ, позволяет производить обработку сплава ВТ22 со скоростями резания более 60 м/мин. Максимальная стойкость такого инструмента составляет 100–120 мин. При этом стабильно формируется шероховатость обработанной поверхности Ra 0,2–0,4.

Применение при фрезеровании титанового сплава концевой фрезой, оснащенной пластинкой из ПКНБ, СОТС «Трибол», повышает стойкость инструмента в 2,5–3,0 раза.

Обработка деталей из цветных металлов и сплавов. Одной из самых распространенных областей применения инструмента с ПКА является обработка алюминий-кремниевых сплавов (силуминов) с содержанием 11–26 % Si. Твердосплавные режущие инструменты быстро разрушают-

ся абразивными частицами кремния, находящимися в этих материалах. Чередование твердой и мягкой структуры 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 с твердосплавными резацами и увеличить производительность обработки.

Шероховатость обработанной поверхности  $Ra \leq 0,8$  мкм достигается при износе инструмента  $h_3 \leq 0,05–0,1$  мм после точения 2000–7000 поршней, что соответствует 40–110 м<sup>2</sup> 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, а также с тем, что в качестве наполнителей в ПКМ используются 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 самую 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 значительных по абсолютной величине подачах (до 1,2 мм/об) и глубинах резания (до 7–8 мм при размере пластины 12,7 мм, то есть 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. Разрезка таких материалов производится при скорости резания 0,50–1,16 м/с, а 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 %) +  $Ti_2$  (15 %)), твердостью 80–84 HRA. Анализ экспериментальных зависимостей скорости изнашивания инструментов, оснащенных АКП и АТП, от скорости резания при точении покрытия с  $Al_2O_3$ , показывает, что при скоростях резания до 0,9 м/с оба инструмента ведут себя аналогично. При скорости резания до 1,2 м/с более работоспособным является инструмент, оснащенный АКП.

Инструменты, оснащенные ПКА, показали высокую работоспособность при обработке деталей, изготовленных из силицированного графита. Высокая 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 углеграфита обрабатываются алмазным инструментом со скоростью резания 3,3–5,0 м/с.

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

### **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ НА ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ СТРУКТУРЫ**

*Бабенко Е.А.*

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

Алмазное шлифование по-прежнему активно применяется в обработке сверхтвердых материалов и природного камня, в прецизионной обработке, в заточке твердосплавного инструмента и т.п. К наиболее распространенному типу алмазных шлифовальных кругов можно отнести шлифовальные круги на органической связке, объем использования которых превышает 50 процентов от общей массы алмазного шлифовального инструмента. Преимуществами органических кругов является их сравнительно низкая себестоимость, способность к быстрому самозатачиванию, скорость изготовления, широкий спектр применения.

Однако наряду с преимуществами круги на органической связке обладают рядом недостатков. Наибольшим недостатком является «чрезмерная» самозатачиваемость, а именно повышенный износ и преждевременное вырывание зерен из связующего. Существует множество исследований отечественных и