

**ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Новиков Н.В., академик НАН Украины

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

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Становление Украины, как промышленно развитого государства, невозможно без использования высоких наукоемких технологий. В свою очередь, развитие этих технологий определяется решением проблемы создания производства и насыщения рынка Украины высоконадежным современным инструментом, который является основным рабочим органом при механообработке.

Как свидетельствует анализ мирового опыта, наступают революционные изменения в техническом и технологическом уровне станкостроения, инструментального производства и механообработки вообще. После широкого внедрения конвейерных технологий, заводов-автоматов, гибких автоматизированных линий, обрабатывающих центров наметилась новая тенденция производства с применением мощных систем компьютерной техники и программного обеспечения. Основу гибкого машиностроительного производства уже с начала XXI века составляют системы нового поколения станков и инструментов.

В механообработке развивается переход к применению кинематически развитых систем со многими степенями свободы, при использовании которых ожидаемый результат связан не только с высокой производительностью съема материала припуска, но и с формированием в поверхностных слоях изделия такого состояния, которое бы наилучшим образом обеспечивало работоспособность изделия в эксплуатации. Минимизация затрат за жизненный цикл изделия распространяется не только на снижение себестоимости процесса их обработки, но и на необходимость обеспечения минимальных затрат, сопровождающих их в эксплуатации.

Расход инструмента на подобном оборудовании в 2–3 раза выше, чем на обычном. При этом необходимо учитывать, что дальнейшее увеличение удельного веса использования труднообрабатываемых материалов неизбежно приводит к увеличению расхода инструмента – его на обработку таких материалов требуется в 2–10 раз больше, а стоимость простоев автоматического оборудования по вине инструмента на два порядка больше, чем универсального.

Практика производства показывает, что чем сложнее и точнее производство, тем более совершенного и разнообразного инструмента оно требует. По данным специалистов Харьковского НИИ технологии машиностроения при подготовке производства сложных конструкций машин в условиях серийного производства трудоемкость проектирования и изготовления спе-

циального инструмента составляет 20...75% от общей трудоемкости, а стоимость его – 85% общей суммы затрат на технологическую подготовку производства новой продукции. Примерно 1/13...1/17 часть расходов предприятия составляют затраты на инструмент. Трудоемкость выпуска инструмента колеблется от 4 до 12% трудоемкости изготовления основной продукции. В свою очередь затраты, связанные с изготовлением инструмента и технологической оснастки, составляют от 3 до 10% себестоимости продукции, а оборотные средства, вложенные на его приобретение и изготовление, занимают 12...25% общей суммы оборотных средств предприятия. На ряде предприятий стоимость находящегося в обращении инструментария достигает 25...32% балансовой стоимости оборудования.

Производства принципиально изменяется, обновляется и технически, и по методам работы. Для этого нужен специальный инструмент, базирующийся на широком использовании самых современных «режущих» материалов – моно- и поликристаллических сверхтвердых материалов (СТМ, ПСТМ) и композитов на их основе.

Развитие технологий механообработки материалов – ключевая задача базовых отраслей промышленности. При этом применение инструментов, разработанных с использованием новейших материалов и современных представлений о процессе резания, рассматривается как приоритетное направление увеличения производительности и надежности обработки и определяет экономичность производственных технологий.

Сегодня основными тенденциями развития процессов механической обработки представляются следующие:

- высокоскоростная (скорость резания в 2–3 раза превышает скорость резания при обычной обработке) и высокопроизводительная (высокие скорости резания и величины подачи) обработка;
- обработка без охлаждения или с минимальным применением СОТС (например, подача СОТС в распыленном виде, применение твердых смазок);
- применение инструментов с функциональными защитными покрытиями (покрытия на инструментах, оснащенных режущей частью с СТМ, и покрытия из СТМ на инструментах, оснащенных керамикой и твердыми сплавами) и модифицированным поверхностным слоем;
- обработка с высокими динамическими нагрузками (нестабильные механические свойства материала обрабатываемой детали, переменный припуск на обработку, конструктивные особенности обрабатываемых деталей);
- уход от дискретных методов обработки и совмещение операций, например, совмещение в одной операции резания и поверхностного пластического деформирования (ППД) за счет кинематики процесса, геометрических параметров и особенностей конструкции инструмента;
- многокоординатная обработка сложнопрофильных изделий одним

инструментом, обработка инструментом с переменной режущей вершиной, обработка методом обката рабочей части режущего инструмента;

- обработка «сырых» сталей инструментами, оснащенными СТМ, обработка вязких специальных сталей, например, сталей с аустенитной структурой, литых высокомарганцовистых сталей;

- оптимизация обработки за счет применения компьютеризированного оборудования, широкого использования управления процессами обработки, диагностики состояния режущего инструмента и состояния поверхностного слоя обработанных изделий на базе современных компьютерных программных продуктов.

В связи с этим актуальными задачами современной технологической науки, решение которых обуславливает соответствие создаваемых технологий мировым тенденциям, является развитие фундаментальных и прикладных исследований в области разработки и производства режущих инструментов которые обеспечивают высокоэффективную и экономичную обработку деталей из самых современных конструкционных материалов. Это касается как материалов, используемых в инструментах, так и их конструкций.

Объем научных исследований по совершенствованию и развитию процессов обработки изделий из различных материалов инструментами со сверхтвердыми материалами во всем мире неуклонно возрастает. О большом внимании индустриально развитых стран к сверхтвердым материалам, как наиболее прогрессивным для оснащения инструментов, а в ряде случаев и конструкционным материалам, свидетельствует тот факт, что в настоящее время ведущие промышленно развитые страны используют около 80 % добываемых природных и производимых синтетических алмазов. При этом одной из основных областей применения СТМ является механообработка, в которой используется 70 % их общего объема.

Основным направлением научной деятельности Института сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины является развитие научных основ создания новейших технологий обработки металлов и неметаллов инструментом на основе сверхтвердых материалов (СТМ), разработка методов и технологий применения новых инструментальных материалов в базовых областях промышленности.

Инструментально-технологические разработки Института убедительно показывают, что конкурентоспособность инструментов с СТМ является тем краеугольным камнем, на котором должно базироваться создание высокопроизводительных технологических процессов обработки, перспективных для инновационного развития базовых отраслей промышленности Украины.

Совершенствование технологий механической обработки с использованием инструментов, оснащенных сверхтвердыми материалами нуждается

в объединении материаловедческих представлений об эффективных структурах и оптимальных свойствах инструментальных и обрабатываемых материалов с выявлением закономерностей процессов обработки резанием. Основу такого подхода составляют современные представления о механике, теплофизике, кинетике, термодинамике и физико-химии контактного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов с учетом действия окружающей среды. Они базируются на положениях теории резания, высокотемпературного структурообразования с учетом силового воздействия, вычислительной термодинамики, представлениях о возможностях управления технологическими параметрами, диагностики *in situ*, анализе состояния поверхностного слоя обработанных изделий. К анализу целесообразно привлечь современные синергетические представления о сложных процессах в открытых системах.

Количественное описание текущего физико-химического и механического состояния инструментального и обрабатываемого материалов в контактной зоне для конкретных условий процесса механической обработки, изучение эволюции и возможности трансформации поверхностей инструмента в контактной зоне под действием термобарических условий процесса резания, составляет фундаментальную основу совершенствования режущих инструментов и процессов механической обработки, используется в мотивации выбора или создания инструментальных материалов.

Разработки Института, отвечающие основным мировым тенденциям:

- создание новых композитов инструментального назначения, обладающих повышенными трибологическими свойствами, и режущих инструментов на основе разработки представлений о контактном взаимодействии в зоне резания (композиты, обеспечивающие формирование в зоне резания азотной среды; композиты, сформированные лазерным спеканием; абразивные инструменты со структурно-ориентированным рабочим слоем; абразивные инструменты из композитов на основе неорганических полимеров силоксанового ряда; инструменты из алмаз- или абразивсодержащего волокна);

- разработка представлений о эволюции и адаптации структуры материалов режущих инструментов, самоорганизации на контактных участках инструментов при различных условиях эксплуатационного нагружения (фрактальная параметризация структуры и свойств твердых сплавов; абразивные инструменты со структурно-ориентированным рабочим слоем; эволюция микроструктуры силоксанового полимера в условиях термообработки);

- математическое и компьютерное моделирование теплофизического и напряженно-деформированного состояния рабочей зоны «инструмент-деталь» (оценка напряженного состояния в композите «ПСТМ на основе КНБ-покрытие»; моделирование процесса лазерного спекания алмаз- и КНБ-содержащих композитов);

- создание новых защитных покрытий для режущих инструментов на основе исследования контактного взаимодействия в зоне резания инструментами, оснащенными различными материалами (покрытия, обеспечивающие формирование в зоне резания азотной среды; защитные покрытия для однослойного правящего инструмента);

- разработка кромбинированных процессов формирования высококачественных поверхностей (трибо-химическое полирование рабочих поверхностей на изделиях оптического назначения из сапфира);

- создание механотронных высокоскоростных систем с ЧПУ и адаптивным управлением, микропроцессорное управление процессом обработки (стенд станка с параллельной кинематикой);

- диагностика состояния системы обработки резанием *in situ* (разработка методологии, приборного и программного обеспечения акустического контроля процесса обработки по параметрам стойкости режущего инструмента и качества обработанной поверхности).

Приведенные результаты работ по инструментально-технологическому направлению, выполненных в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, показывают наличие широкого спектра отечественных разработок, их высокую практическую значимость и востребованность промышленностью. Результаты разработок по конструированию, изготовлению и применению современного типажа инструментов для лезвийной, абразивной, деформирующей механообработки свидетельствуют о большом потенциале, инвестиционной привлекательности инструментального сектора техносферы Украины. Обеспечение инновационного развития этого сектора благодаря государственной поддержке и концентрации внимания интеграции возможностей научных организаций, университетов, специалистов производств обеспечит Украине формирование своего сектора на европейском индустриальном рынках. Приоритет развития инструментального направления в машиностроении Украины может быть эффективным, как по срокам окупаемости необходимых инвестиций, их размерам, так и по коммерческой отдаче от реализации инструментальной отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках изделий машиностроения.

Технологии механической обработки – неотъемлемая часть промышленного производства, использование возможностей которой непрерывно расширяется. Знание основных закономерностей процессов, имеющих место в зоне обработки, с учетом принципов технологического обеспечения качества и технологической наследственности, позволяет использовать в деталях машин современные конструкционные материалы с высокими потенциальными свойствами, формировать в поверхностном слое деталей требуемое состояние, обеспечивая тем самым их эксплуатационные свойства. Для

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-