

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Предлагаемая вниманию читателей статья продолжает серию публикаций о современном состоянии износостойких покрытий и является совместным проектом авторов и одного из мировых лидеров в этом секторе – швейцарской фирмы Platit.

Рынок режущего инструмента России интенсивно заполняется продукцией ведущих инструментальных фирм, предлагающих различные марки инструментальных материалов, которые отличаются, в том числе, различными износостойкими покрытиями. Однозначно ответить на вопрос, какой инструмент и с каким покрытием выбрать, достаточно сложно. Попробуем оценить свойства и области применения различных видов современных износостойких покрытий, не рассматривая покрытия, наносимые в производственных условиях крупных инструментальных фирм (керамические, алмазные), в основном, с применением метода химического осаждения, которые практически не подлежат восстановлению в процессе эксплуатации.

Для обзора выберем покрытия, которые в процессе эксплуатации могут быть восстановлены на небольших установках методом физического осаждения.

Абсолютное большинство инструментальных фирм предлагает базовые универсальные покрытия. Как правило, они различаются по цвету, и опытный пользователь всегда может определить, что именно нанесено на инструмент. В табл.1 представлены основные виды современных покрытий с указанием важнейших характеристик и цвета, которые можно наносить на установках фирмы Platit.

Понятие "инструмент с покрытием" ассоциируется у большинства технологов с золотисто-желтым цветом инструмента. Это цвет нитрида титана **TiN**, наиболее распространен-

ного на сегодняшний день износостойкого покрытия. Именно цвет обеспечил широкое применение такому покрытию и в декоративных целях. Впервые это покрытие было нанесено в 1980 году. Выпущенные в большом количестве в Советском Союзе установки "Булат" обеспечили в свое время массовое применение такого покрытия в нашей стране. Наносится нитрид титана достаточно легко путем соединения атомов титана и азота физическим или химическим способами. Нитрид титана – покрытие общего назначения, которое увеличивает стойкость инструмента для обработки резанием, давлением

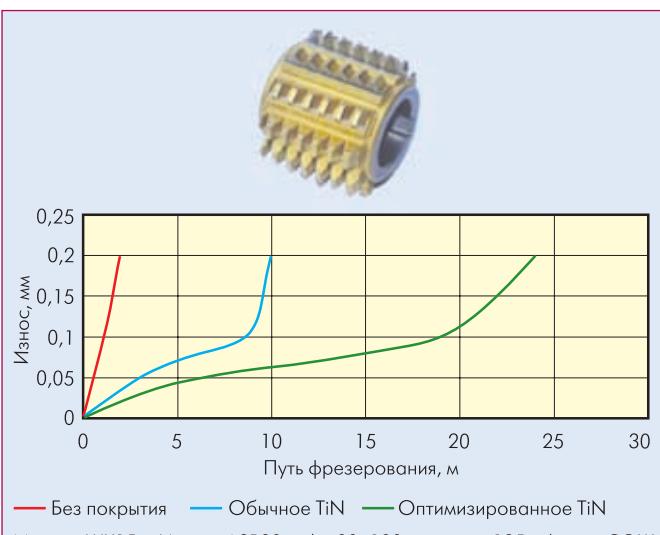


Рис.1

Таблица 1. Свойства покрытий

	Цвет	Нанотвердость, ГПа	Толщина, мкм	Коэффициент трения	Максимальная температура применения, °C
TiN	Золотой	24	1-7	0,55	600
TiAlN односл.	Фиолет.-черный	35	1-4	0,5	800
TiAlN многосл.	Фиолет.-черный	28	1-4	0,6	700
TiCN-MP	Красно-медный	32	1-4	0,2	400
TiCN	Серо-голубой	37	1-4	0,2	400
MOVIC	Серо-зеленый	-	0,5-1,5	0,15	400
STARVIC	Серо-зеленый	32	1,5-5,5	0,15	400
CrN	Серебр.-метал.	18	1-4	0,3	700
Ti ₂ N	Серебристый	25	1-3	0,45	600
TiAlCN	Фиолет.-красный	28	1-4	0,25	500
CROMVIC	Серый	20	1,5-6	0,15	400
CBC (DLC)	Серый	20	0,5-4	0,15	400
GRADVIC	Серый	28	1,5-6	0,15	400
ZrN	Бело-золотой	26	1-4	0,5	550
AlTiN	Черный	38	1-4	0,7	900
mAlTiN	Черный	38	1-2	0,3	900
nACo	Фиолет.-голубой	45	1-4	0,45	1200
nACRo	Серебр.-метал.	40	1-4	0,35	1100
nACVic	Серый	40	1-7	0,15	1200

в 2–3 раза. Это покрытие применяется также для литейных форм и снижения трения в деталях машин. При использовании современных установок, позволяющих оптимизировать покрытие под конкретные условия обработки, возможно еще более значительное увеличение стойкости по сравнению с непокрытым инструментом. Пример такой оптимизации для червячных фрез показан на рис.1, а для вытяжных штампов – на рис.2.

Для исторической справедливости следует упомянуть **TiC**, поскольку именно с него началось нанесение покрытий на инструмент вообще. Это покрытие обладает очень высокой твердостью (3400 HV 0,05), что обеспечивает надежную защиту от износа. Однако диффузионная стойкость у него существенно ниже, чем у TiN, поэтому оно хуже защищает от луночного износа. Стойкость к окислительному износу у покрытия на основе TiC также невысокая. Все это ограничивает его применение.

Как отмечалось выше, покрытие TiN наиболее распространено в мире (рис.3). Основными его "конкурентами" являются TiCN и TiAlN, и их доля в последнее время неуклонно растет.

Карбонитрид титана **TiCN** (более правильное написание Ti(C,N), так как содержание углерода может быть различным) находит применение как в качестве твердого покрытия на инструмент, так и снижающего трение покрытия на детали машин. Покрытие часто имеет многослойную структуру с постепенным увеличением к поверхности доли углерода. Замещение атомов азота углеродом в кристаллической решетке

нитрида титана приводит к повышению твердости, что увеличивает износостойкость, но делает покрытие более хрупким. Для увеличения вязкости используются различные способы, в частности, проводится нанесение нескольких слоев таким образом, чтобы между ними создавались внутренние напряжения. Например, покрытия **TiCN-MP** применяются для

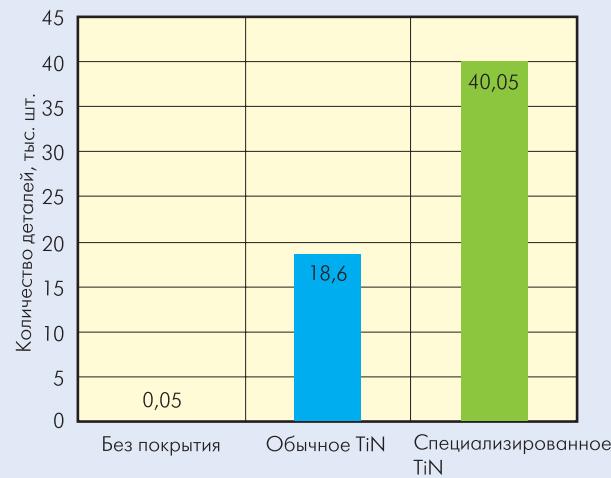


Рис.2

Таблица 2. Рекомендации по применению покрытий

	Обработка резанием					Обработка давлением			
	Сверление	Точение	Фрезерование	Нарезание метчиком	Отрезка пилой	Развертывание Протягивание	Литье под давлением	Пробивка Вырубка	Штамповка
Сталь	nACo AlTiN	nACo AlTiN	TiAlCN nACo	STARVIC GRADVIC	TiAlCN TiN	TiCN-MP μAlTiN	TiN CrN	STARVIC TiAlCN	STARVIC TiAlCN
Чугун	nACo AlTiN	nACo AlTiN	nACo AlTiN	TiAlCN TiCN-MP	TiCN-MP TiN	μAlTiN TiCN-MP			
Алюминий (>12% Si)	nACo TiCN	nACo TiCN	nACo TiCN-MP	GRADVIC TiCN-MP	TiAlCN TiN	μAlTiN TiCN-MP	TiN CrN	STARVIC TiCN	STARVIC GRADVIC
Алюминий (<12% Si)	STARVIC GRADVIC	STARVIC GRADVIC	GRADVIC STARVIC	CROMVIC TiCN-MP	TiCN-MP TiN	STARVIC TiCN-MP	TiN CrN	STARVIC GRADVIC	STARVIC GRADVIC
Суперсплавы (Ti, Ni...)	nACo GRADVIC	nACo GRADVIC	GRADVIC STARVIC	STARVIC GRADVIC	TiAlCN TiN	STARVIC GRADVIC	TiN CrN	STARVIC GRADVIC	STARVIC GRADVIC
Медь	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN
Бронза, латунь	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP	CrN TiN	TiCN TiCN-MP	TiCN TiCN-MP
Пластик	TiCN-MP TiAlCN	TiCN-MP TiAlCN	TiCN-MP TiAlCN	TiCN-MP TiAlCN	TiCN-MP TiAlCN		TiN CrN		

прерывистой металлообработки, фрезерования, нарезания резьбы метчиком, вырубки из листового материала, гибки и штамповки. Эффективность обычного и оптимизированного покрытия TiCN применительно к вырубным штампам показана на рис.4.

Цель создания покрытий $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ заключалась в увеличении их тепло- и износостойкости, стойкости к окислительно-му износу по сравнению с существующими покрытиями. По сравнению с TiN и $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ покрытия $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ обладают лучшей стойкостью к окислению при более высокой твердости. $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ создает тепловой барьер, практически изолирующий инструментальный материал. Происходит перераспределение тепловых потоков, и большая часть тепла уходит в стружку.

Областью применения инструментов с покрытием $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ является обработка с большими термическими нагрузками на инструмент. К таким операциям относится практически любая высокопроизводительная обработка, когда скорость резания приводит к увеличению температуры в зоне контакта



Рис.4

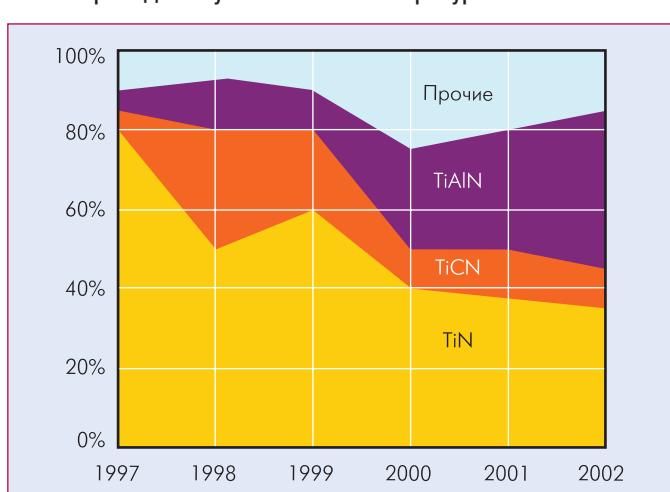


Рис.3

между заготовкой и инструментом. Без инструментов с покрытием $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ невозможно реализовывать высокоскоростную обработку, обработку без применения СОЖ, обработку материалов в твердом состоянии (твердая обработка).

$(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ наносится только физическим способом. На рис.5 показана эффективность покрытия $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ при эксплуатации цельных твердосплавных фрез с эмульсией и без нее. Покрытие $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ также может быть оптимизировано для конкретного случая применения. Например, при нанесении оптимизированного покрытия $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ на быстрорежущие развертки их стойкость возрастает более чем в четыре раза по сравнению с инструментом без покрытия и более чем в два раза по сравнению с покрытием из TiN (рис.6).

Покрытие из $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ стандартно наносится как однослойное или многослойное (рис.7). Продолжительность нанесения многослойного покрытия больше, но оно обладает способ-

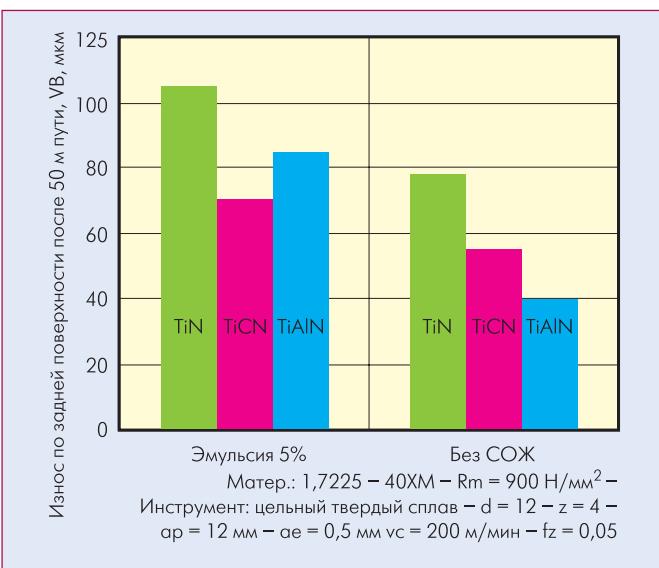


Рис.5

ностностью поглощать трещины и увеличивать стойкость инструмента.

(Ti,Al)N послужил базой для создания широкого спектра покрытий на основе алюминия и титана. Повышение доли алюминия увеличивает способность покрытия выдерживать высокие термические нагрузки. Такое покрытие обозначается как **µAlTiN**, также наносится как одно- или многослойное, обладает очень высокой износостойкостью. Является практически идеальным для инструмента, выполняющего операции высокоскоростной обработки без применения СОЖ, а также твердой обработки. На рис.8 показано различие в стойкости цельных твердосплавных сверл с нанесенными на инструмент различными покрытиями при обработке стали без применения СОЖ.

Покрытие **µAlTiN** представляет собой однослойный вариант покрытия AlTiN с существенно улучшенным качеством поверхности. Возникающие на поверхности покрытия в процессе его нанесения капли исходного материала могут создавать препятствия для схода стружки. Наличие капель является одним из недостатков процесса физического нанесения

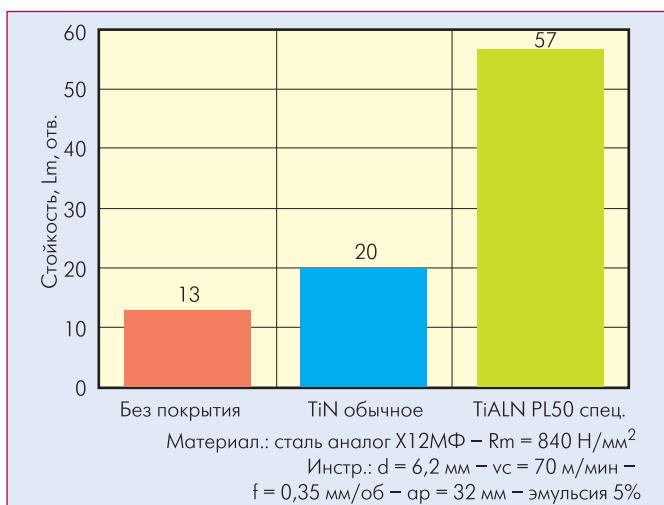


Рис.6

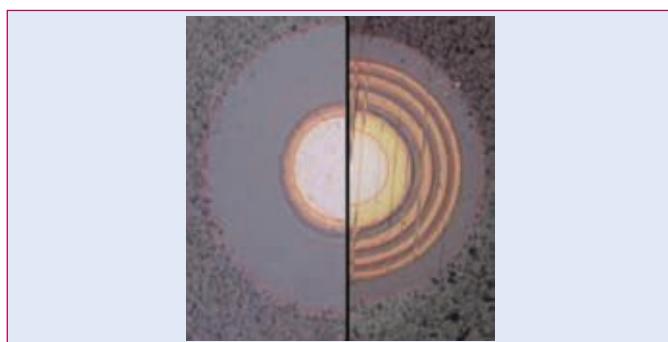


Рис.7

покрытия дуговым методом. Обычно для улучшения качества поверхность инструмента после нанесения покрытия полируется. При нанесении µAlTiN высокое качество поверхности обеспечивается самим процессом и не требует дополнительного полирования. Сочетание качества поверхности с высоким содержанием алюминия, придающим покрытию тепловую стойкость и возможность обеспечения стабильности режущей кромки, создает особые преимущества при применении этого покрытия на прецизионном инструменте для обработки резьбы, развертках и т.д.

Из покрытий на основе алюминия и титана, которые можно наносить на компактных установках в условиях инструментального цеха или производства, наиболее многообещающим является градиентное покрытие **TiAlCN-G**. Градиентным (рис.9) называется покрытие, структура которого плавно меняется от основы к наружной поверхности (в отличие от многослойных покрытий, где слои различных материалов имеют четкие границы и чередуются). Покрытие TiAlCN является практически универсальным. Оно обладает высокими вязкостью, твердостью, теплостойкостью и низким коэффициентом трения. Может применяться практически при любых операциях обработки резанием и давлением. Эффективность этого покрытия можно проиллюстрировать на следующем примере. При операции растачивания большого отверстия в шатуне применение пластины с этим покрытием позволило

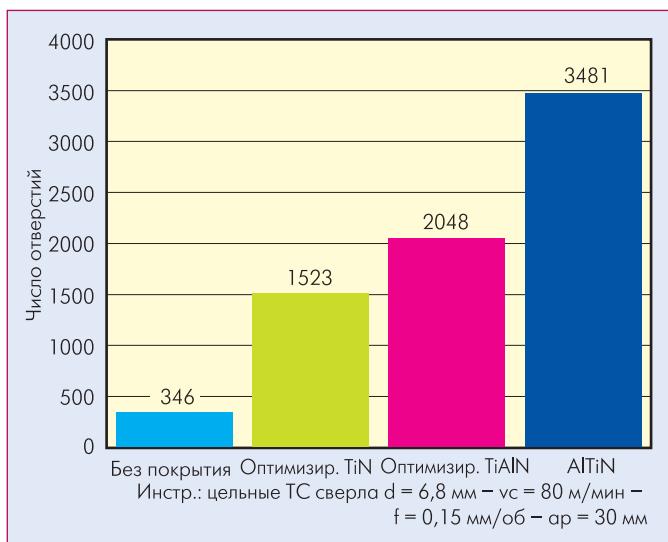


Рис.8

Таблица 3. Рекомендации по применению нанокомпозитных покрытий

	Сверление		Фрезерование		Зубо-обработка	Нарезание резьбы	Развертывание		Обработка давлением
	HSS	HM	HSS	HM			HSS	HM	
Сталь	nACRo	nACo	nACRo	nACRo	nACRo	nACVc	nACRo	nACo	nACVlc
Закаленная сталь		nACo		nACo		nACRo		nACo	
Чугун	nACRo	nACo	nACRo	nACo		nACo	nACRo	nACo	
Алюминий (>12% Si)	nACRo	nACo	nACRo	nACo		nACRo	nACRo	nACo	nACVlc
Суперсплавы (Ti, Ni...)		nACo		nACo	nACRo	nACRo	nACRo	nACo	nACVlc



Рис.9

без подналадки на размер обработать такое же количество деталей, какое было обработано пластиною с покрытием TiAlN с тремя подналадками, и в полтора раза больше деталей, чем было обработано пластиною с покрытием TiN с четырьмя подналадками.

Существует целая группа покрытий с менее широкой областью применения, чем у тех, о которых шла речь выше. В конкретных областях эти покрытия позволяют существенно повысить потребительские свойства изделий, на которые они наносятся. В качестве наиболее яркого примера можно назвать покрытие **CrN**, которое применяется в основном для нанесения на штампы, прессформы и детали машин. Низкая температура нанесения (около 200°C) обеспечивает сохранение твердости материала, на который наносится покрытие. Покрытие CrN на форме для литья под давлением повышает ее стойкость более чем в 5 раз, а его оптимизация увеличивает стойкость еще в два раза (рис.10).

Покрытие **Ti₂N** имеет высокое содержание титана и при нанесении на режущий инструмент облегчает обработку материалов, дающих длинную стружку. Оно также применяется для прецизионных вырубных инструментов. В то же время



Рис.10

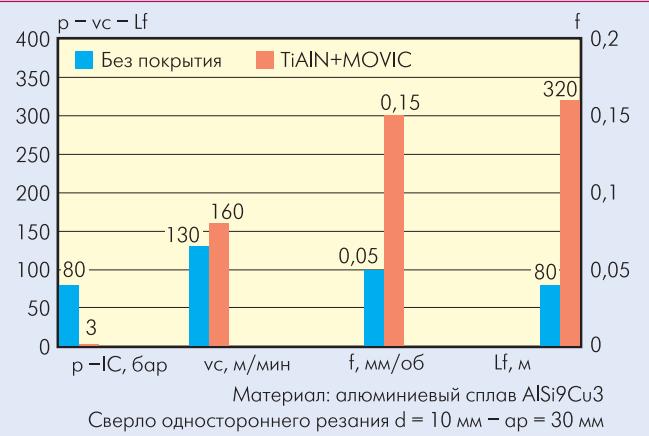


Рис.11

производителей медицинских имплантатов привлекает биологическая совместимость такого покрытия.

Специализированное однослойное покрытие **ZrN** эффективно снижает наростообразование при обработке алюминиевых и титановых сплавов.

Отдельную группу составляют самосмазывающиеся покрытия, создающие эффект смазывания даже в сухом состоянии. В результате сокращается поверхностное трение между деталью и инструментом и связанное с ним выделение тепла. Самосмазывающиеся покрытия разделяются на мягкие и твердые. Наиболее известным мягким покрытием является дисульфид молибдена **MoS₂ (MOVIC®)**, которое наносится в отдельном процессе поверх основного покрытия. Ограничено применяется это покрытие и в резании, например, при глубоком сверлении. На рис.11 видно, что применение MoS₂ поверх



Рис.12

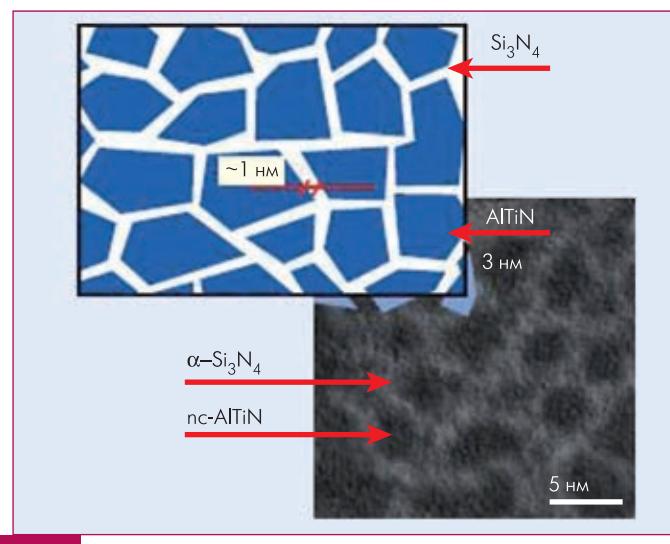


Рис.13

TiAlN на пушечном сверле позволяет отказаться от интенсивного внутреннего подвода СОЖ под высоким давлением в пользу минимального смазывания при одновременном повышении скорости резания, подачи и стойкости инструмента. Покрытие MOVIC®, нанесенное поверх оптимизированного покрытия TiCN-MP, носит название STARVIC®.

Более широкое применение для резания находят твердые самосмазывающие покрытия, которые могут наносится в том же цикле, что и основные покрытия. К ним относятся, в частности, покрытия на основе аморфного углерода (графита) **a-C** и водородосодержащие покрытия металл-углерод **Me-C:H**, например WC/C. Однослойное покрытие на основе графита **CBC**, нанесенное поверх покрытия CrN (носит название **CROMVIC®**) на бесстружечный метчик, увеличивает его стойкость более чем в 20 раз (рис.12). Покрытие имеет наноградиентную структуру и защищает инструмент от возникновения нароста на кромках, что делает его идеальным, например, при обработке метчиками алюминиевых сплавов. Аналог-

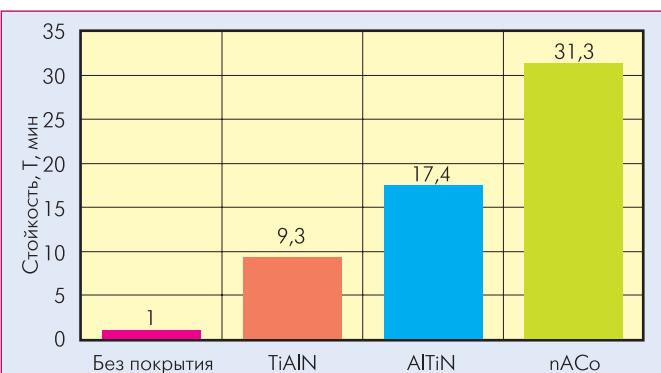


Рис.15

ичное градиентное покрытие CBC, нанесенное поверх TiAlCN и носящее фирменное название **GRADVIC®**, применяется при обработке высоколегированных материалов, титановых и никелевых сплавов, особенно при нарезании резьбы.

Последними по порядку, но не по значимости, являются нанокомпозитные покрытия. Можно с уверенностью сказать, что этим покрытиям, наносимым в настоящее время только на компактных установках фирмы Platit с вертикальными близкорасположенными врачающимися катодами (технология LARC®), принадлежит будущее. Нанокомпозитная структура (рис.13) представляет собой нанокристаллические зерна материала покрытия, внедренные в аморфную матрицу. Покрытия носят названия **nACo®** (на базе Ti, Al) и **nACRo®** (на базе Cr, Al). Нанокомпозитное покрытие обладает очень высокой твердостью. Эффект аналогичен возникающему при ходьбе по сухому и мокрому песку (рис.14). Уникальность материала заключается в том, что с увеличением твердости одновременно увеличивается и эластичность покрытия, хотя эти два параметра являются взаимно исключающими. В результате покрытие одинаково хорошо работает и при высокопроизводительной обработке, и в обычных условиях. На рис.15 показана стойкость твердосплавной фрезы при твердом микрофрезеровании закаленного штампа (твердость 57 HRC) из стали для горячей обработки 4Х5МФ. Диаметр фрезы 0,83 мм, скорость резания 100 м/мин, подача 0,004 мм/зуб. На рис.16 приведена величина стойкости быстрорежущего метчика при обработке резьбы M8 на глубину 16 мм в стали X12МФ на скорости резания 14 м/мин. На рис.17 приведены данные по стойкости высокопроизводительной быстрорежущей червячной фрезы

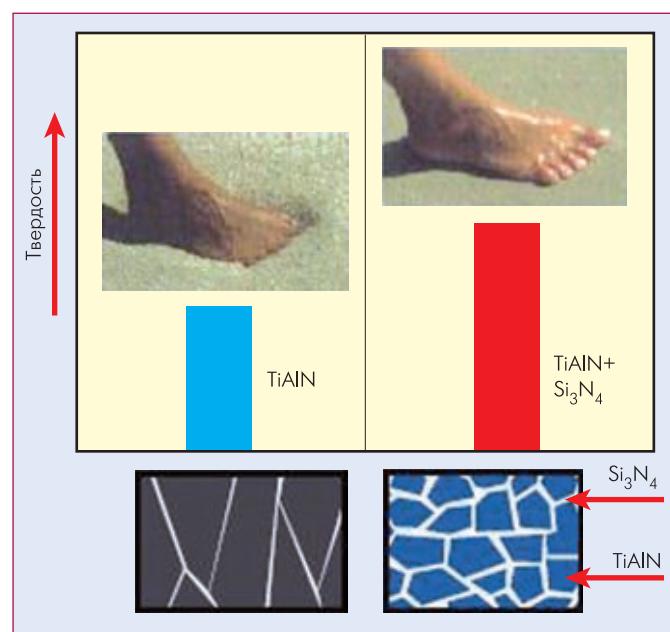


Рис.14

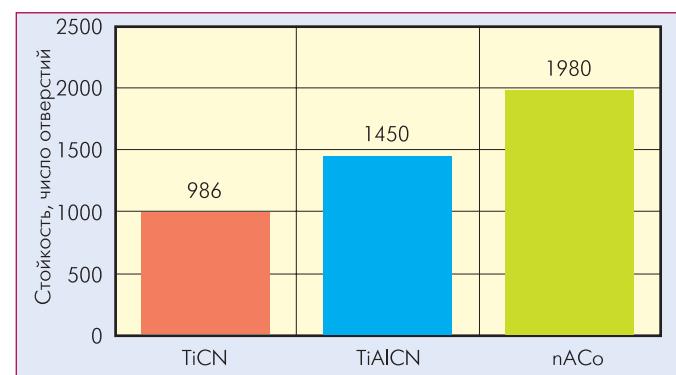


Рис.16

НОВЫЕ КНИГИ

Шокин А.А. Министр невероятной промышленности СССР. Страницы биографии

Москва: Техносфера, 2007. – 456с.
ISBN 978-5-94836-151-2. Цена 275 руб.

Книга посвящена жизни и деятельности Александра Ивановича Шокина (1909–1988), государственного деятеля, инженера, ученого, министра электронной промышленности СССР, возглавлявшего и создававшего ее с момента выделения в самостоятельную отрасль в течение почти двадцати пяти лет. За это время объем выпускаемой продукции увеличился более чем в сто (!) раз, а Советский Союз стал единственным в мире государством, имевшим возможность создавать самые современные системы вооружения, используя только отечественные электронные компоненты.

По мере того, как общество начинает осознавать истинную высоту вершины достижений, на которую оно так долго и тяжело взбиралось и с которой так быстро свалилось, растет интерес к периоду наибольшего могущества нашей страны, и вряд ли исследователи удовлетворятся только краткими биографическими справками из энциклопедий о тех, кто сумел его достичь.

Книга написана на основе документов, писем из личного архива автора, книг и публикаций в периодике, а также личных воспоминаний, содержит уникальные фотографии.

По сравнению с первым изданием, вышедшим в 1999 г., книга существенно расширена и переработана.

Для читателей, интересующихся историей развития радиоэлектроники.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 594

По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110

E-mail: knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru



Рис.17

при обработке заготовки зубчатого колеса из стали 38 ХГНМ на скорости 177 м/мин и подаче 0,6 мм/об.

Как видно из приведенного краткого обзора, покрытий достаточно много. Подспорьем в выборе оптимального покрытия в зависимости от обрабатываемого материала и метода обработки может послужить технология, разработанная фирмой Platin. В табл.2 и 3 приведена краткая справочная информация по выбору оптимального упрочняющего покрытия .