ТЕМА: НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ.

- Этот метод является наиболее универсальным среди других известных методов модификации и поэтому получил наибольшее промышленное распространение при изготовлении режущего инструмента широкой номенклатуры. Более 80% твердосплавных пластин в мире выпускается с различными покрытиями. Нанесение покрытий широко применяется и для быстрорежущего инструмента, а в последнее время и для пластин из минералокерамики.

- Для инструментов их быстрорежущих сталей и твердых сплавов главный эффект от нанесения покрытий заключается в повышении твердости контактных площадок режущего инструмента и снижении их адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом. В результате этого трансформируются функциональные и физические параметры процесса резания: стружкообразование, контактные и тепловые процессы, а так же изнашивание рабочих площадок инструмента.

СЛЕДСТВИЕМ ЭТИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЯВЛЯЕТСЯ:

- повышение размерной стойкости режущего инструмента, которое ведет к существенно более экономному использованию инструментальных материалов;
- смещение допустимых скоростей резания для данного инструментального материала в область более высоких значений, что обеспечивает повышение производительности обработки;
- снижение шероховатости обработанных деталей.

Сегодня промышленность располагает достаточно большим арсеналом методов нанесения износостойких покрытий, из которых в инструментальном производстве наиболее широко применяются методы химического осаждения покрытий из газовой фазы - Chemical Vapour Deposition (CVD) и физического осаждения покрытий в вакууме - Physical Vapour Deposition (PVD).

К разновидностям метода CVD относятся:

- высокотемпературное осаждение покрытий – high-temperature (HT-CVD);
- среднетемпературное осаждение покрытий – medium-temperature (MT-CVD);
- осаждение покрытий с плазменным сопровождением – plasma assisted (PA- CVD).

К разновидностям метода PVD относятся:

- электронно-лучевое испарение;
- вакуумно-дуговое испарение;
- магнетронное распыление.

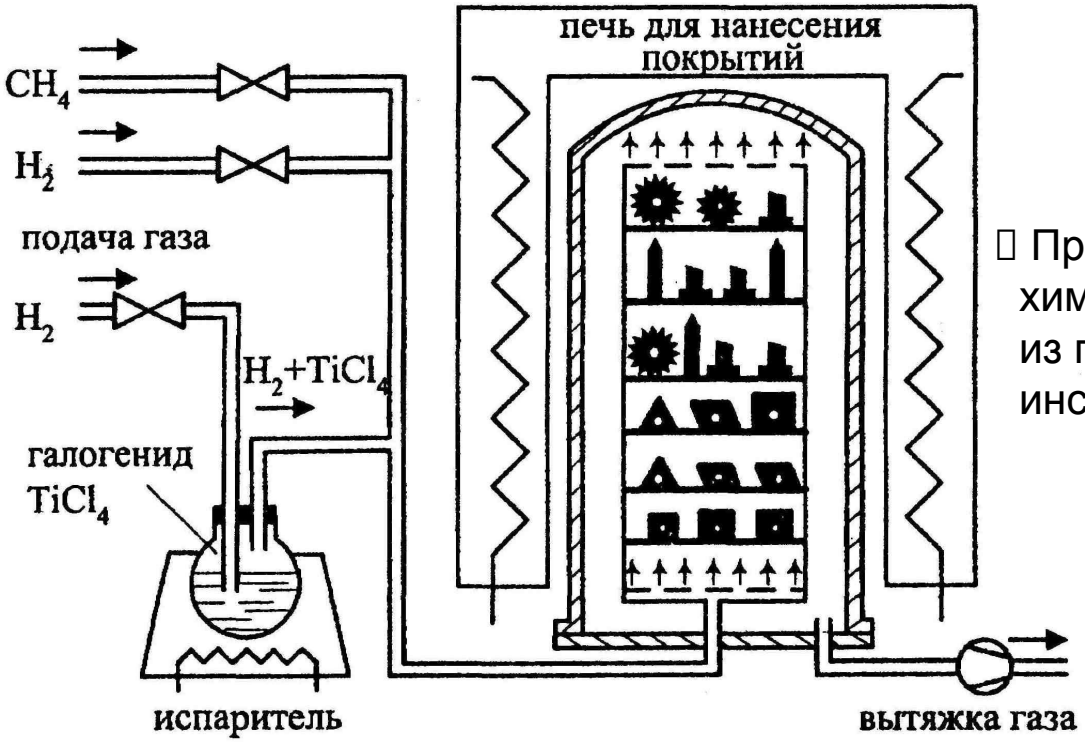
Методы CVD и PVD существенно различаются:

- по температурам и давлениям, при которых они реализуются
- по составам наносимых покрытий
- по областям применения.

МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ (CVD).

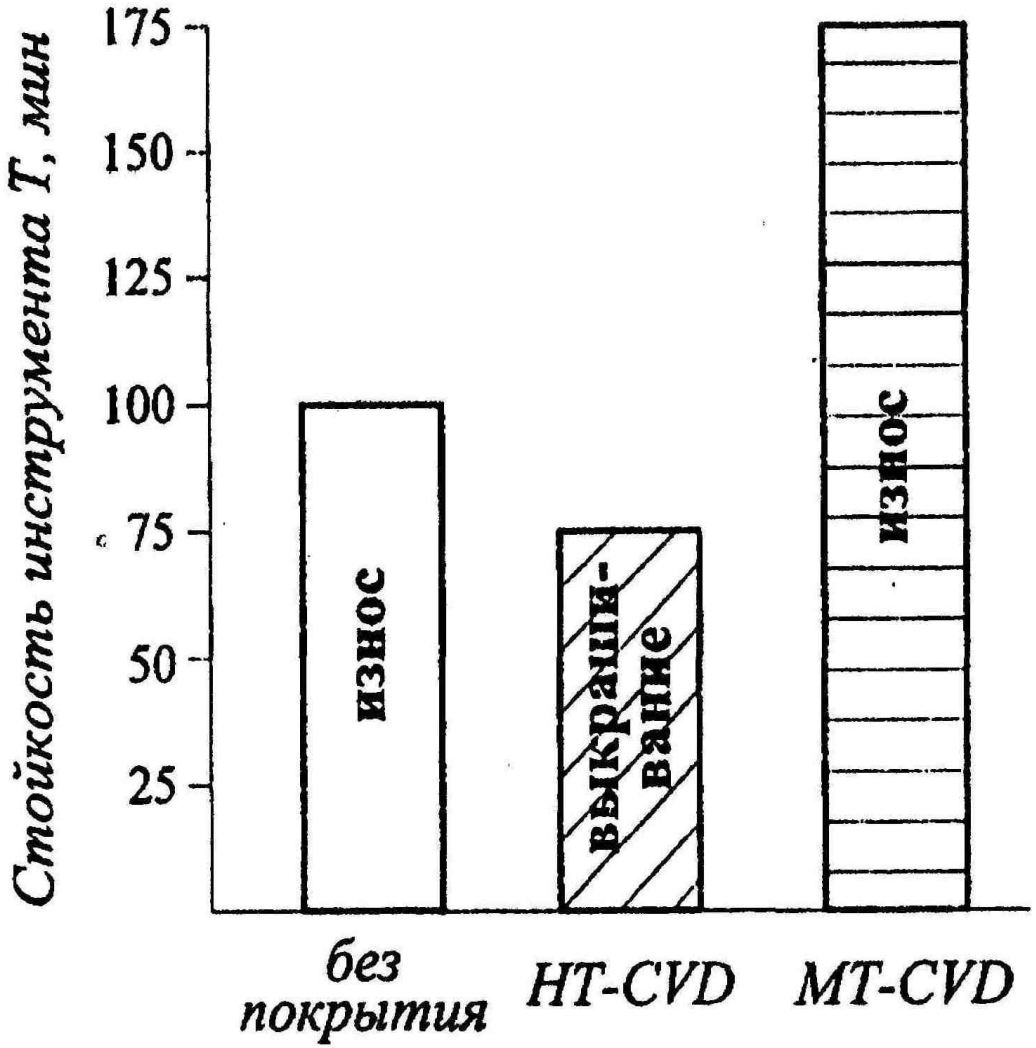
- Методами химического осаждения покрытий (CVD) получают соединения на основе нитридов, карбидов, карбонитридов и боридов тугоплавких металлов - AlOз, TiN, TiC, ZrN, TiCN и др.

- В общем случае процессы CVD основаны на протекании гетерогенных химических реакций в парогазовой среде, окружающей инструмент, в результате которых образуется износостойкое покрытие (рис. 5). Осаждение покрытий происходит в специальной печи в присутствии водорода при взаимодействии газообразных галогенидов типа $TiCl_4$, $AlCl_3$ с составляющими смесей - азотом при осаждении нитридов тугоплавких металлов, метаном при осаждении карбонитридов и углекислым газом при осаждении оксидов.



- Принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы на твердосплавный инструмент.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ TICN МЕТОДОМ HT-CVD ИЗ-ЗА ФОРМИРОВАНИЯ ХРУПКОЙ Н-ФАЗЫ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ ДАЖЕ К СНИЖЕНИЮ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПО СРАВНЕНИЮ С ИНСТРУМЕНТОМ БЕЗ ПОКРЫТИЯ, В ТО ВРЕМЯ КАК НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ MT-CVD В 1,7 РАЗА УВЕЛИЧИВАЕТ ЭТОТ ПОКАЗАТЕЛЬ.



- Влияние покрытий TiCN на стойкость твердосплавных торцевых фрез при обработке стали:

  Dфр=100 мм; V=120 м/мин;

  S=0,1 мм/зуб, t=1 мм

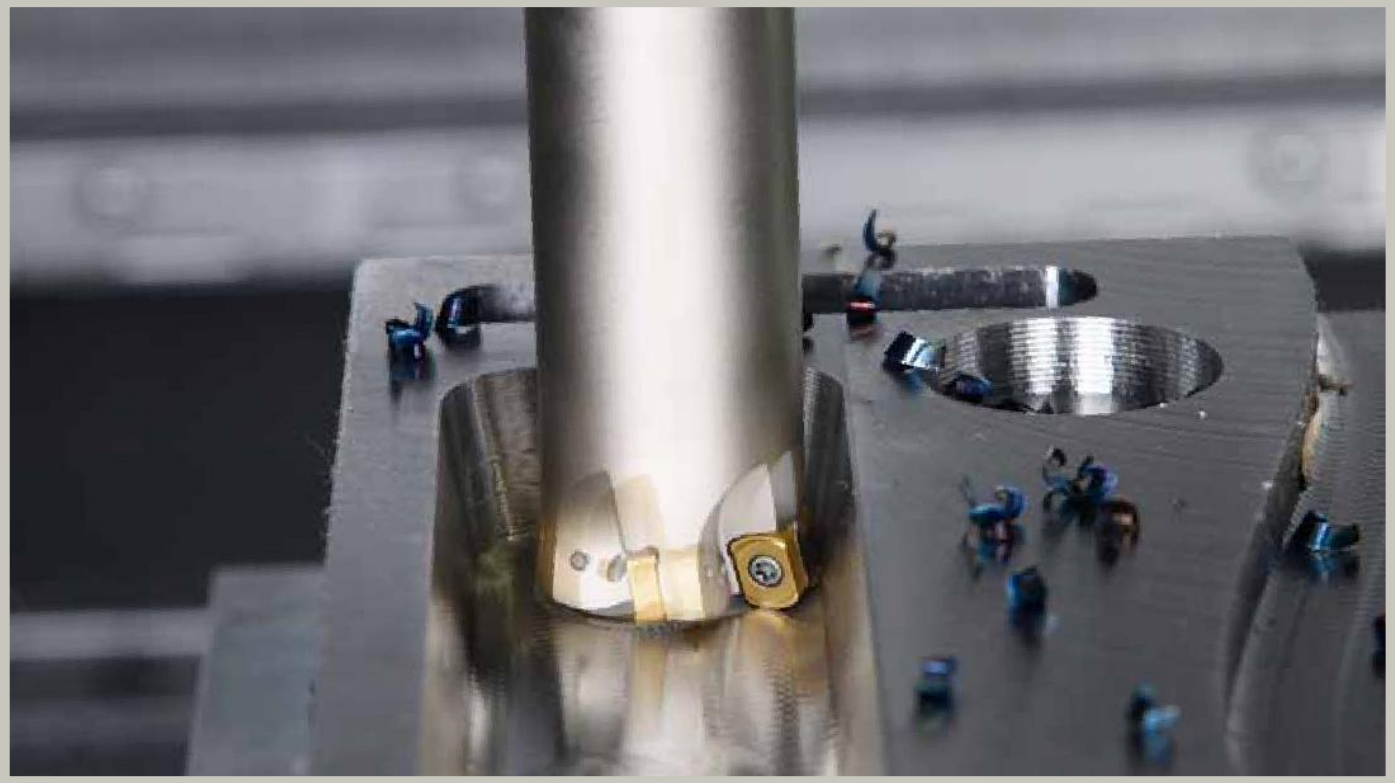
  (обработка без СОЖ).

Все CVD-методы обеспечивают равномерное нанесение покрытий на рабочие поверхности инструмента и обладают относительно высокой производительностью, что делает их особенно привлекательным для массового производства. Существенными недостатками CVD-методов является практическое отсутствие возможностей широкого управления составом, свойствами и структурой формируемых покрытий. Другим недостатком этих методов до недавнего времени являлась взрывоопасность и токсичность используемых реагентов. Поэтому за рубежом были разработаны различные технологические решения, позволяющие осуществлять осаждение покрытий без подачи водорода.

В настоящее время помимо традиционно используемых однослойных покрытий TiN, TiC и TiCN в промышленности широко используются и многослойные покрытия, в которых каждый слой выполняет строго регламентированные функции. Типичным представителем таких покрытий является TiC-TiCN-Al2Oз. Использование барьерного (наружного) слоя Al2Oз сдерживает диффузионные процессы и служит своеобразным термоизолирующим слоем, снижает склонность инструментального материала к окислению при повышенных температурах резания. Карбид титана обладает кристаллохимической совместимостью с твердосплавной подложкой, а карбонитрид титана является прекрасной связкой и используется дня повышения прочности адгезионной связи между инструментальным материалом и наружным слоем покрытия.

Твердый сплав с покрытием (CVD).

Кроме состава покрытия, очень важной и достаточно противоречивой характеристикой является его толщина. С одной стороны, ее рост благоприятно сказывается на повышении износостойкости контактных площадок инструмента, с другой - приводит к заметному увеличению количества дефектов в покрытии, снижению прочности сцепления покрытия с инструментальным материалом и уменьшению способности покрытия сопротивляться хрупкому разрушению. Именно поэтому при нанесении покрытий на инструменты, эксплуатирующиеся в условиях прерывистого резания, например, при фрезеровании, когда покрытие должно сопротивляться циклическим нагрузкам, его толщина, как правило, не превышает 6-7 мкм, в то время как при точении этот показатель может достигать 15 мкм.



МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ (PVD).

- Методы физического осаждения покрытий универсальны с точки зрения получения гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на основе нитридов, карбидов, карбонитридов, оксидов, боридов тугоплавких металлов IV-VI групп Периодической таблицы и позволяют реализовывать процессы нанесения при температурах 500-600°С, что обеспечивает возможность их применения для инструментальных сталей и твердых сплавов.
- Как показывает производственный опыт, при обработке на повышенных скоростях резания, PVD-покрытия, имеют даже некоторое преимущество перед CVD-покрытиями. Это связано с тем, что по мере повышения скорости резания, и как следствие температуры в зоне обработки, PVD-покрытия значительно меньше теряют в твердости.

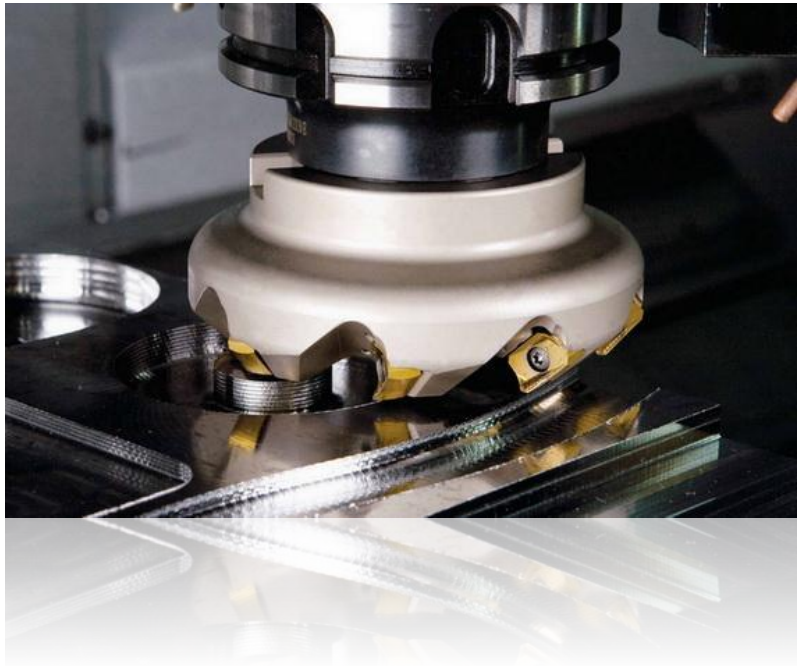
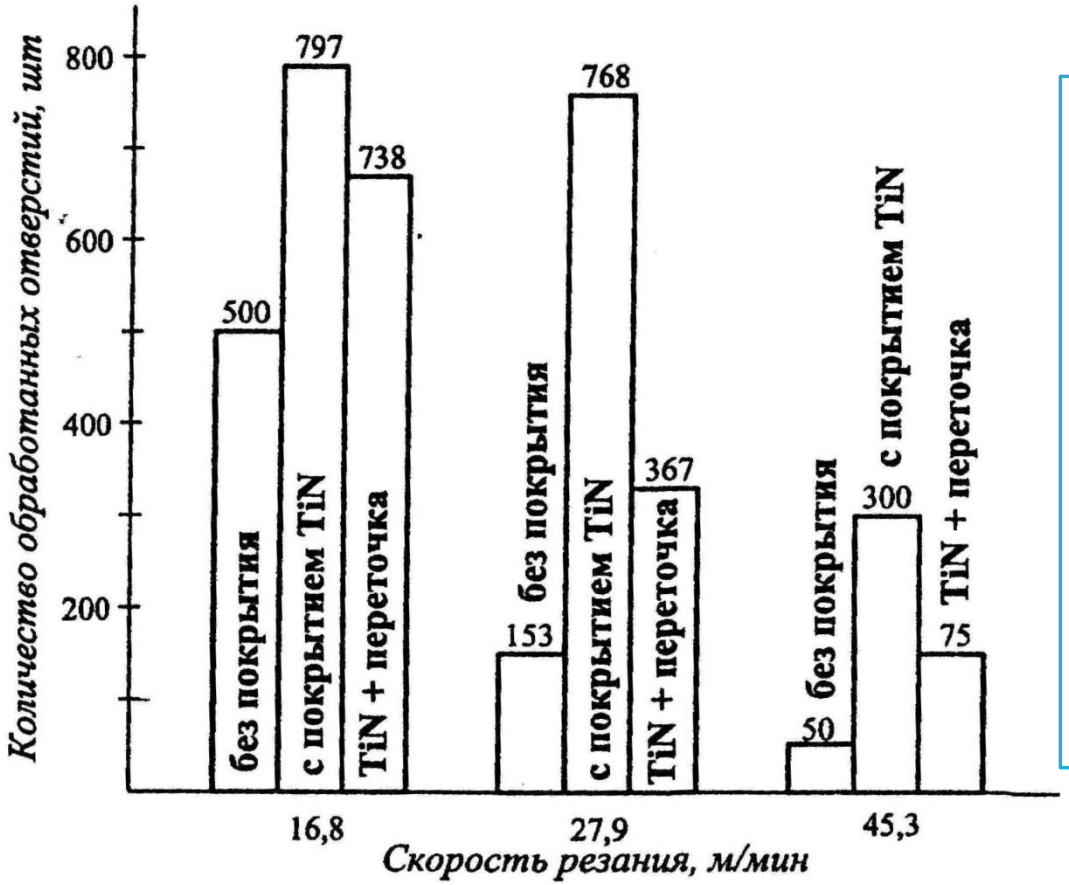


РИС. ДЕМОНСТРИРУЕТ, КАК НАНЕСЕНИЕ ДАЖЕ САМОГО ПРОСТОГО ОДНОСЛОЙНОГО ПОКРЫТИЯ TIN НА СВЕРЛА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ПОЗВОЛЯЕТ СУЩЕСТВЕННО УВЕЛИЧИТЬ ИХ СТОЙКОСТЬ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ. ОСОБЕННО ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ В СРАВНЕНИИ С ИНСТРУМЕНТОМ БЕЗ ПОКРЫТИЯ ПРОЯВЛЯЕТСЯ ПО МЕРЕ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ.



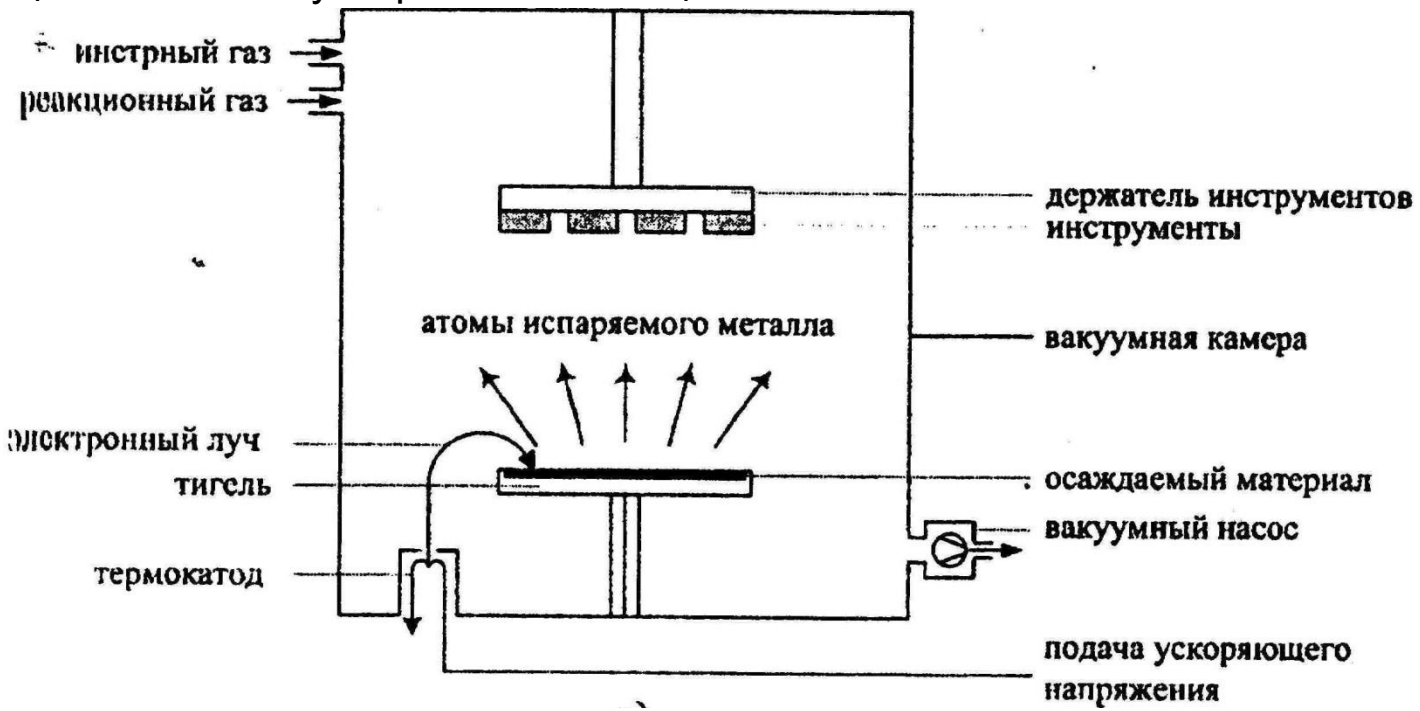
Видно, что при низких скоростях резания увеличение стойкости относительно невелико (в 1,6 раза), при этом переточка по задней поверхности существенно не снижает стойкости сверл с покрытием. При повышении скорости резания относительная стойкость сверл из быстрорежущей стали с покрытием TiN существенно увеличивается - до 6 раз.

Стойкость быстрорежущих свёрл с покрытием TiN при обработке стали на различных скоростях резания: D = 6,35 мм; s = 0,11 мм/об (обработка с СОЖ).

НАНЕСЕНИЕ PVD-ПОКРЫТИЙ МОЖЕТ ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ, НО В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НАИБОЛЬШЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЛУЧИЛИ - *ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ* ИСПАРЕНИЕ, *ВАКУУМНО-ДУГОВОЕ* ИСПАРЕНИЕ И *МАГНЕТРОННОЕ* РАСПЫЛЕНИЕ.

Электронно-лучевое испарение.

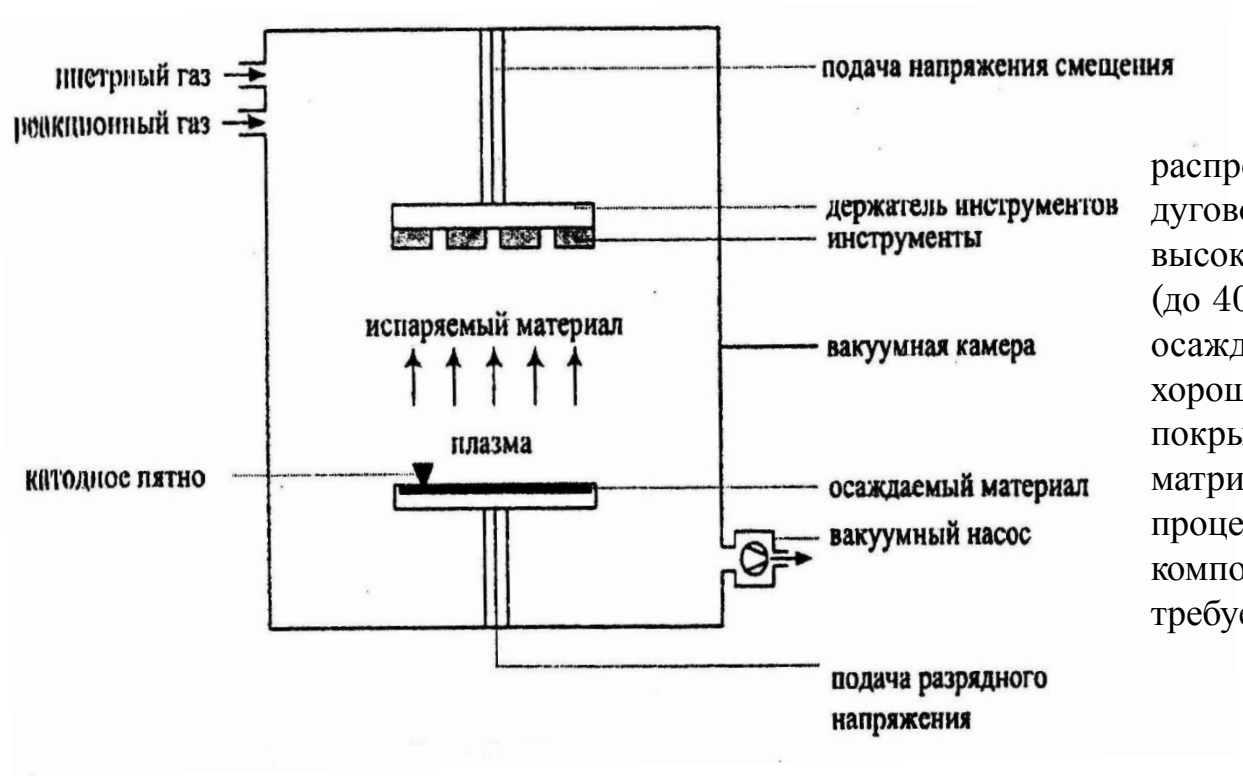
Электронно-лучевое испарение позволяет формировать покрытия с достаточно высокой производительностью (до 20 мкм/час) и управлять их составом и свойствами. Основной недостаток этого метода заключается в сравнительно низком проценте ионизированных частиц в общем потоке испаряемого материала (около 1%), что влияет на прочность адгезионной связи осаждаемых покрытий. Поэтому при электронно-лучевом осаждении покрытий используются дополнительные, автономно работающие источники ускоренных частиц.



Вакуумно-дуговое испарение.

Метод вакуумно-дугового испарения нашел очень широкое применение в отечественной инструментальной промышленности. Его суть заключается в испарении вещества катодным пятном вакуумной дуги и в условиях ионной бомбардировки последующей конденсации на рабочих поверхностях инструмента металлического пара или его соединения с реакционным газом, которое образуется благодаря протеканию плазмохимических реакций. Применительно к образованию нитрида титана плазмохимическая реакция имеет вид:

$Ti^{+} + N \rightarrow TiN.$

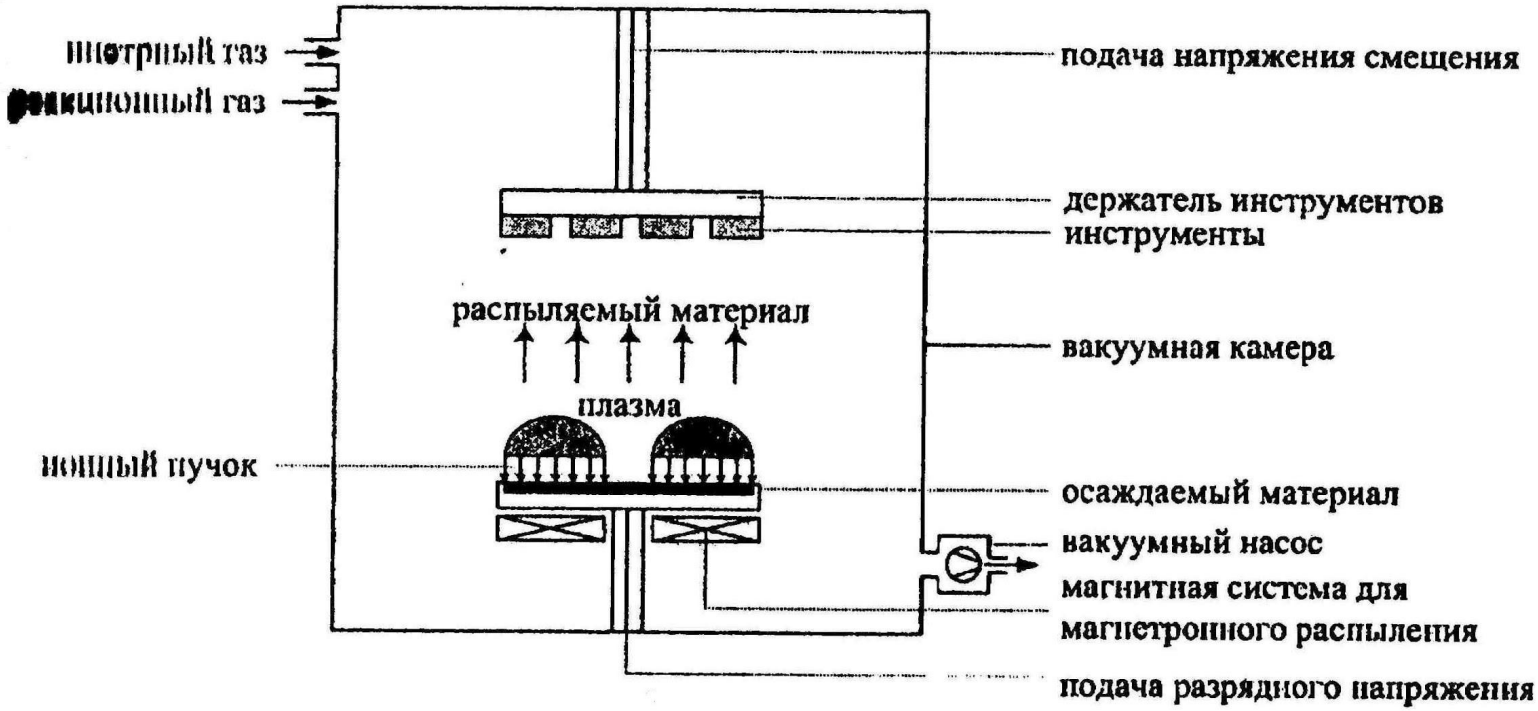


Широкому промышленному распространению метода вакуумно-дугового испарения способствовала высокая скорость нанесения покрытий (до 40 мкм/час) и степень ионизации осаждаемого потока частиц (до 90%), хорошая прочность адгезионной связи покрытия с инструментальной матрицей, возможность управления процессом нанесения и формирования композиционных покрытий с требуемым комплексом свойств.

В тоже время этот способ имеет существенный недостаток - наличие капельной фазы в покрытии, образующейся в результате поглощения газов металлами с частичным образованием жидкого раствора и неравномерности микро- и макроструктуры распыляемого катода. Поэтому выбор технологических режимов нанесения покрытий должен производится исходя из условий минимального образования капельной фазы.

Магнетронное испарение.

Метод магнетронного распыления основан на использовании скрещенных магнитного и электрического полей, сформированных непосредственно над распыляемой поверхностью. Под действием магнитного поля электроны совершают сложное циклоидальное движение у поверхности катода, в процессе которого они претерпевают многочисленные столкновения с атомами инертного газа (обычно аргона) и происходит их ионизация. При магнетронном распылении достигается высокое качество покрытий (супердисперсность, гомогенность, отсутствие дефектов). Большим недостатком магнетронного распыления являются низкие скорости осаждения покрытий (не более 10 мкм/час) и относительно малая степень ионизации осаждаемого потока частиц (не более 20%).



Таким образом, сегодня существуют различные PVD-методы для нанесения покрытий на режущий инструмент. При выборе того или иного способа обязательно необходимо учитывать масштабы производства и стоимость технологического оборудования для нанесения покрытий.

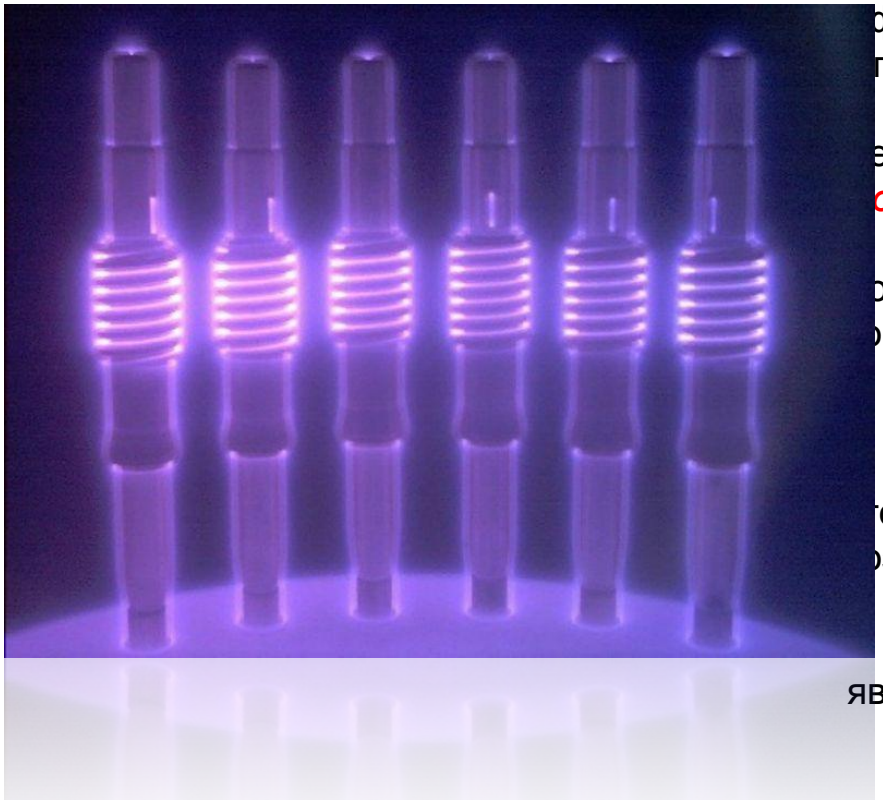
ТЕМА: ЛЕГИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ.

В отличие от нанесения покрытий, эти методы модификации характеризуются тем, что атомы легирующего материала проникают в кристаллическую решетку поверхностного слоя режущего инструмента на глубину до 80 мкм и изменяют его химический состав.

Основным предназначением методов поверхностного легирования является повышение твердости и теплостойкости рабочих поверхностей режущего инструмента, следствием которых является улучшение выходных параметров процесса резания. Главным образом методы поверхностного легирования используется для режущих инструментов из инструментальных сталей, но имеется достаточное количество примеров их применения и для твердосплавного инструмента.

На сегодняшний день разработано большое количество методов поверхностного легирования, но несомненным лидером в инструментальном производстве является химико-термическая обработка. К химико-термической обработке режущего инструмента относятся технологии насыщения его поверхностного слоя различными элементами - C, N, CN, O, B и др. (цементация, азотирование, нитроцементация, оксидирование, борирование и др). Выбор способа химико-термической обработки обусловлен требованиями, предъявленными к поверхностному слою инструмента, теплостойкостью инструментальной стали и др.

Более универсальными и пригодными для всех теплостойких инструментальных сталей являются азотирование, низкотемпературное цианирование, нитроцементация, карбонитрация (желательно с последующим оксидированием), выполняемые в печах или соляных ваннах после термической обработки в качестве заключительной операции. Влияние их на свойства и стойкость инструментов примерно одинаково. На поверхности инструмента в результате выполнения этих обработок создается слой высокой твердости (до 70-71 HRC), теплостойкости, возникают полезные сжимающие напряжения и уменьшается налипание (адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом). Остальные свойства инструмента определяются свойствами сердцевины.



Последнее время широкое распространение получили методы ффузионной химико-термической обработки с пользованием различных источников плазмы. Наиболее освоенным и применяемым в ечественной промышленности является метод *онного азотирования* в низкотемпературной плазме тлеющего разряда. При ионном отировании скорость обработки по сравнению обычным печным азотированием возрастает в 2-5 раза за счет ускорения диффузионных процессов и уменьшения количества подготовительных операций, снижается емпература нагрева инструментов, имеется зможность регулирования фазового состава, отсутствует коробление обрабатываемых инструментов. Кроме того, этот процесс является нетоксичным и экологически чистым.

Ионное азотирование - многофакторный процесс. Структура, фазовый состав и другие характеристики диффузионного слоя определяются рядом технологических факторов - давлением газа в камере, температурой и временем азотирования, а также составом атмосферы. Управляя ими, можно регулировать толщину азотированного слоя и его структурное состояние, которые определяют комплекс необходимых свойств инструментов с учетом конкретных условий их эксплуатации.

Ионная имплантация рабочих поверхностей режущего инструмента используется для упрочнения поверхности. В основе ионной имплантации (легирования) лежит облучение в вакууме пучком ионов газа или металла, ускоренных до энергии 104-106 эВ, в результате чего происходит внедрение в поверхность ионов и атомов легирующего вещества (титана, хрома, азота и др.) Этот метод является универсальным по спектру легирующих примесей и диапазону концентраций примеси в легированном слое.

Широкое промышленное распространение имплантационной технологии ограничивается ее низкой производительностью и высокой стоимостью.

При *электроискровом легировании* рабочих поверхностей режущего инструмента импульсные разряды в газовой среде сопровождаются электрической эрозией и полярным переносом материала анода на инструмент, являющийся катодом. Однако в поверхностном слое часто формируются неблагоприятные растягивающие остаточные напряжения. Кроме того, после электроискрового легирования может наблюдаться ухудшение шероховатости поверхности инструмента, что требует применения дополнительных видов механической обработки.

В основе *лазерного легирования* рабочих поверхностей режущего инструмента лежит введение присадок в процессе лазерного нагрева.

НЕСМОТРЯ НА ЭТО, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЧАСТО ПОКАЗЫВАЮТ НЕРЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В СИЛУ СЛЕДУЮЩИХ ПРИЧИН:

- лазерные технологические установки имеют достаточно высокую стоимость (главным образом, непрерывные CO_2-лазеры);
- низкий КПД (используется только 15% подводимой энергии);
- низкая производительность;
- имеются большие сложности при необходимости обработки фасонного инструмента.

При легировании рабочих поверхностей режущего инструмента могут быть использованы и другие источники плазмы - электронный луч (при электронно-лучевом легировании) и дуговой разряд (при плазменном легировании).