



НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАЗНОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ.

Разработан новый низкотемпературный газодинамический метод (НТГДМ) формирования покрытий с необходимыми свойствами. На данный метод (способ) получен Патент Российской Федерации № 2082823 от 17.06.91. Получено также четыре Патента РФ на оборудование по реализации НТГДМ-технологии: патент № 2089665 от 23.06.1995, патент № 2193454 от 20.04.1998, патент № 2193455 от 20.04.1998, патент № 2194091 от 20.04.1998. Кроме того, физический принцип НИГДМ заложен в разработку нового способа обработки мясных и рыбных продуктов композициями из сухих специй и приправ. Получены Патенты РФ на способ и оборудования для его реализации: патент № 2168300 от 24.03.1999г. и патент № 2179809 от 24.03.1999г.

Сущность НТГДМ заключается в том, что защитные покрытия формируются в результате соударения высокоскоростных (сверхзвуковых, $M > 1$) двухфазных (гетерогенных) потоков (газ + порошок) с подложкой. Состав

материала покрытия в большинстве случаев можно "набирать" из необходимого количества компонентов (металлов, оксидов, карбидов, керамик, полимеров и др.), изготовленных в виде порошков с дисперсностью от 5 до 30 мкм. Однако качество покрытия значительно улучшается, если композиция покрытия представляет не механическую смесь порошков, а производственный композиционный порошок, изготовленный по спецтехнологии с использованием термопечей.

Газопорошковая смесь, создаваемая специальной системой, разгоняется в сверхзвуковом сопле до расчетной сверхзвуковой скорости и направляется на подложку для формирования на ней защитного покрытия. Высокоскоростное соударение частиц с подложкой приводит к очистке поверхности, ее активизации и взаимной пластической деформации частицы и подложки. При соответствующей скорости в момент удара, в пятне контакта происходит диссипация кинетической энергии, физико-химические и фазовые превращения в материалах подложки и частиц. Все эти процессы сопутствуют образованию новых межатомных связей, формируя покрытия с необходимыми свойствами.

Исследования на специально разработанных лабораторных стендах показали, что с помощью НТГДМ можно создавать как однородные металлические и неметаллические, так и композиционные по составу покрытия. Прогнозировать их свойства, с высокой точностью контролировать технологический процесс и управлять им.

Эти и другие производственные и технологические особенности метода дают основание присвоить ему название наукоемкой «НТГДМ–технологии».

«НТГДМ-технология» позволяет формировать на различных подложках любые металлические, интерметаллические, металлокерамические композиционные покрытия, а также полимерные композиционные покрытия с нужными свойствами, например, радиопоглощающие.

Нанесение жаропрочных неметаллических покрытий, в том числе из карбидов, боридов, оксидов, силицидов и других тугоплавких соединений также возможно при соответствующей доработке технологии формирования каждого конкретного покрытия.

Одним из важнейших преимуществ «НТГДМ-технологии» по сравнению с другими газо-термическими методами (плазменным, электродуговым, газопламенным, детонационным) является то, что покрытие синтезируется за счёт высокого уровня кинетической энергии частиц, в то время как температура газа-носителя значительно меньше температуры плавления частиц. Это очень важное обстоятельство, поскольку низкий уровень температуры исключает физико-химические превращения, например, окисление материала порошка, поэтому частица достигает подложки в своем исходном состоянии, воплощая в покрытии свойства материала частицы. Кроме того, низкая температура позволяет использовать в качестве газа-носителя дешёвый сжатый воздух, не ухудшая качество покрытия. В связи с

высокой кинетической энергией частиц порошка в момент удара, покрытия формируются без специальной предварительной очистки поверхности.

Процесс нанесения покрытий позволяет реализовать полное управление и может быть автоматизирован с использованием блока программируемых контролеров или компьютеров прикладным программным обеспечением.

Производственные возможности метода:

НТГДМ – технология может найти масштабное использование в различных отраслях промышленности благодаря тому, что она способна обеспечить:

- нанесение защитных от естественной коррозии покрытий на металлоконструкции из дешевых сталей, а также лист, прокат и др.;
- формирование защитных покрытий на внешних и внутренних поверхностях и трассовых труб водоводов, нефте- и газопроводов;
- получение прочных, термо- и жаростойких защитных покрытий, способных работать при высоких температурах в химически активных средах, например, в системах тепловой защиты элементов конструкции высокоскоростных ЛА, а также в качестве тепловой защиты новых образцов кинетического вооружения¹;
- восстановление и упрочнение изношенных металлических и неметаллических деталей машин и агрегатов;
- нанесение фрикционных и антифрикционных покрытий;
- создание алмазоподобных, металлокерамических режущих инструментов;
- получение надежных вакуумных и других соединений из не свариваемых традиционными способами материалов (металл-металл, металл-керамика, металл-полимер, и т. д.);
- получение электрических плат любой топологии;
- получение проводников с высокотемпературной сверхпроводимостью (температура жидкого азота);
- нанесение защитных покрытий на корпуса кораблей, вагонов, ферм мостов, стен нефтяных танков и др.
- внедрение в сухом виде специй и приправ в замороженные мясные и рыбные продукты- полуфабрикаты сельскохозяйственного производства.

Технологические возможности метода:

- при формировании покрытия коэффициент использования металлического порошка $\varphi = 1$, неметаллического $0,6 < \varphi < 0,8$;

- высокая адгезия покрытия, превышающая адгезию любых других, изготовленных традиционными методами»
- высокая скорость нанесения покрытий по толщине (десятки мм/сек) и по площади (0,5 м²/сек и более);
- диапазон изменения толщины покрытия от нескольких десятков микрон до нескольких миллиметров;
- создано лабораторное оборудование – прототип производственного и отработана технология формирования металлических антикоррозионных покрытий на внешние поверхности изделий прокатных станков (трубы, профиль, арматура и др.). Скорость формирования покрытия до 1,0 м/сек при толщине до 50 мкм;
- создано лабораторное оборудование высокой производительности и отработана технология формирования металлических антикоррозионных покрытий на внутренние поверхности изделий при габаритах каналов 50мм и более;
- НТГДМ - технология может быть реализована в стационарном и переносном, мобильном варианте для работы в полевых условиях;
- переносной вариант - малые габариты установки и незначительные энергозатраты (не более 20 кВт промышленной электрической мощности и не более 100 г/с промышленного сжатого воздуха);
- стационарный вариант - высокая производительность оборудования. Скорость формирования покрытий до 1,0 м/сек при продольной протяжке изделия. Электрическая мощность от 20 до 1000кВт переменного тока. Расход сжатого воздуха от 0,01 кг/сек до 1кг/сек, массовый расход порошка до 1г/сек до 100г/сек;
- возможность полной автоматизации технологического процесса и контроля над ним.

«НТГДМ-технология» не требует специальной очистки обрабатываемой поверхности и использования дорогой вакуумной техники и другого уникального оборудования. Технология обеспечивает высокую экологическую чистоту производственного процесса, благодаря замкнутой технологической схеме.

Возможные области применения НТГДМ_технологий

Области техники	Изделия, узлы и детали	Род покрытия	Функция покрытия
1	2	3	4
1. Авиация, ракетная техника, космическая техника, вооружение	Камеры сгорания, сопла, лопатки газовых турбин, тепловая защита систем ракетно-космической техники и т.д.	Оксиды: ZrO_2 , Al_2O_3 . Карбиды: NbC , WC , MoC . Интерметаллиды: $NiAl$, Ni_3Al , $FeCrAl$, $NdFeB$. Керамики и металлокерамики: $Al_2O_3 + MgOAl_2O_3 + C_2 + Si$; $NbC + NiAl + Si$; $Ni + Cr + Al + Y + ZrO_2 + Y_2O_3$.	Термостойкость, жаропрочность, эрозионная термостойкость, радиационнооптические свойства, фрикционные и антифрикционные свойства.
2. Машиностроение	Прессформы для литья под давлением, матрицы для прессования, рольганги для прокатных станов, металлоконструкции, режущий и абразивный инструмент, измерительные инструменты.	$WC + Co$, Al_2O_3 , ZrO_2 , $Ni-Cr$ - $B-Si$, $NiAl$, Ni_3Al , карбиды, сложные композиционные керамики, ферромагнетики, сверхпроводящие.	Жаростойкость, износостойкость, электроизоляция, электронагреватели, теплоизоляция и теплопроводники, термоэрозия, антикоррозия, долговечность.
3. Электроника, радио и приборостроение	Монолитные схемы для ЭВМ, электрооборудование, СВЧ - аппаратура,	Оксиды: Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , ZrO_2 . $NdFeB$ - ферромагнетик.	Полупроводниковые свойства, магнитные свойства, свойства сверхпроводимых

	ферромагнетики, платы для систем управления механизмами и агрегатами, электроизоляторы, электропроводники, криогенные сверхпроводники, конденсаторы, печатные схемы, термисторы, резисторы.	Электрические соединения в электросхемах (Al, Cu, Ni, Cr). Пьезоэлементы - BaTiO ₃ и др.	электропроводников, теплоаккумуляторы в приборах, электроизоляторы, теплопроводники.
4. Газовая, нефтяная и угольная промышленности	Рабочие колеса буровых насосов, колонковые трубы, турбобуры (режущие кромки, ковши эксковаторов, трубы газонефтепроводов, заделка аварийных трещин в газонефтепроводах, детали насосных станций нефтегазопроводов.	WC, NbC, MoC. WC + 17Co, WC + Cr, Cr + B + Ni + Si, Al + Fe + Cr. Al, Zn, Ni.	Износостойкость бурового инструмента, коррозионная стойкость нефте- и газопроводов, антикоррозионная защита сварных швов нефте- и газопроводов.

1	2	3	4
5. Транспорт (автомобили, тепло-	Днища поршней и гильзы двигателей внутреннего	Карбиды, оксиды, WC + Co, Al ₂ O ₃ + Si, NiAl, MoC, NbC,	Защита поршней и трубопроводов от

<p>возы, электровозы, корабли и др.)</p>	<p>сгорания, высокотемпературные трубопроводы, винты кораблей, корпуса кораблей, отсеки нефтетанкеров.</p>	<p>Al, Zn, Al + Zn.</p>	<p>термокоррозии, защита винтов кораблей от кавитации, нанесение на днища и борта кораблей антикоррозионных покрытий.</p>
<p>6. Строительство</p>	<p>Городские системы водоснабжения (водопровод), канализация, теплоцентрали, электросеть, внутренняя и внешняя архитектурная отделка зданий (дизайн), металлоконструкции.</p>	<p>Al, Zn, Cu, Ni, Cr, нержавеющая сталь, тепло-электроизоляция (Al_2O_3, SiO_2, MgO). Бронза, латунь, серебро, зеркала на стеклах для облицовки зданий, обработка стекол и др.</p>	<p>Антикоррозионные покрытия водопроводных труб по внешней и внутренней поверхностям, теплоизоляция теплоцентралей, архитектурный дизайн зданий и помещений, защита металлоконструкций от атмосферной коррозии.</p>