

УДК 621. 793. 71

ПЕРЕХОД К НАУКОЕМКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Харламов Ю.А., докт. техн. наук, проф.

(Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

Полонский Л.Г., докт. техн. наук, проф., **Ночвай В.М.**, канд. техн. наук, **Яновский В.А.**, доц.

(Житомирский государственный технологический университет)

Хейфец М.Л., докт. техн. наук, проф.

(Национальная академия наук Беларуси)

У статті в історико-технічному аспекті розглянуто особливості розвитку та впровадження наукомістких технологій газотермічного напилювання, що забезпечують вирішення багатьох актуальних проблем у різних галузях промисловості.

Ключові слова: історія техніки, газотермічне напилювання, наукомісткі технології

Введение. В литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы истории создания и развития техники газотермического напиления (ГТНП). На первых порах ГТНП применяли главным образом в ремонтном производстве и при производстве изделий, эксплуатируемых в нормальных условиях. Однако, в последние десятилетия наблюдается переход к наукоемким технологиям ГТНП и их внедрение в высокотехнологичные отрасли промышленности [1]. К высокотехнологичным (или наукоемким) секторам относятся производства, где отношение затрат на исследования к объему выпуска превышает 3,5 % [2]. Категория «высокая технология» охватывает передовые научные знания и разработки, материально воплощенные в методы, процессы и средства производства конкурентоспособной на мировом рынке принципиально новой или лучшей по технологическому уровню, чем существующие аналоги, продукции [3]. К высокотехнологичным относят производства, специализирующиеся на конкурентной на мировом рынке инновационной продукции

с высокой долей добавленной стоимости, в которых используются новейшие технологии, в том числе, и нанотехнологии, прогрессивные методы, процессы и средства производства [3–5].

Целью данной работы является историко-технический анализ развития и перспектив внедрения наукоемких технологий газотермического напиления.

Освоение технологии ГТНП наукоемкими отраслями. После начального периода истории ГТНП, относящегося к первой половине XX в. и связанного с патентованием многих изобретений по технике металлизации с использованием процессов горения или электрической дуги, существенное развитие ГТНП получило после второй мировой войны в связи с резким и поступательным развитием аэрокосмической промышленности [1]. В этот период возросла потребность в технике ГТНП, способной генерировать пламенные и газовые потоки с более высокой температурой для нанесения покрытий из тугоплавких материалов (керамики и металлов). Это был период, когда техника ГТНП по-

лучила наибольшее развитие как в отношении оборудования, так и материалов (как покрытий, так и вспомогательных). Такие методы ГТНП, как газопламенное напыление керамическими прутками, детонационное и плазменное появились в 1940-е–1950-е гг. для удовлетворения запросов промышленности на получение надежных прочных покрытий для высокотемпературной защиты деталей в двигателях [1]. Эти достижения стали возможными благодаря прогрессу в получении исходных материалов покрытий (порошков и проволоки).

Продажи оборудования и материалов техники ГТНП и доля отраслей промышленности, использующих эту технику, увеличивались экспоненциально после 1950-х гг. параллельно с разработкой новых видов оборудования, материалов и технологий и проведением исследований в индустриально развитых странах мира. Создание и использование диагностических средств (например, наблюдение за отдельными частицами в полете), оптимизация параметров напыления, моделирование, нанотехнологии и вопросы экологии также внесли существенный вклад в развитие ГТНП.

В настоящее время основными наукоемкими отраслями промышленности, широко применяющими технологии ГТНП, являются такие, как аэрокосмическая, турбиностроение, автомобильная, биомедицинская, нефтегазовая, судостроение, обрабатывающая, текстильная, металлообрабатывающая, аграрная и др. Это связано с возможностями методов ГТНП получать покрытия для защиты от износа, для восстановления размеров и ремонта, теплоизоляции, повышения стойкости к коррозии и окислению, обеспечения самосмазываемости, биосовместимости и пр. Новые разработки как исходных материалов, так и методов и технологий еще больше

расширяют возможности техники ГТНП для новых применений и освоения новых рынков.

Развитие научных исследований в сфере ГТНП. Широкое промышленное применение техника ГТНП получила после 1960 г. На это время приходится переход к завершению начального этапа развития методов ГТНП, на котором разработка технологических процессов осуществлялась эмпирическим путем. До 1980-х гг. разработка технологии ГТНП [1, 5, 6] осуществлялась методом проб и ошибок, обычно, в следующей последовательности: варьирование операционных параметров напыления для порошка с частицами данной морфологии и дисперсионного состава для различных методов ГТНП; определение свойств полученных покрытий и оценка их эксплуатационных свойств при использовании в специфических условиях. Эта процедура повторяется до получения требуемых параметров покрытий и фиксации соответствующего набора операционных параметров ГТНП [7]. Этот подход позволял разрабатывать эффективные покрытия и получать их достаточно надежными с высокой повторяемостью при изготовлении изделий, а также контролировать макроскопические параметры процесса напыления, исходные материалы (морфологию частиц и дисперсионный состав) и согласовывать их между рабочими местами и участками. Однако, существенными недостатками такого подхода являлись высокая трудоемкость, большие затраты ресурсов и длительность периода разработки.

В конце 1980-х и в 1990-е гг. появилось два новых подхода:

1. Разработка и использование коммерчески доступных компьютеризованных систем напыления, что позволило непрерывно отслеживать в реальном времени основные макро-

скопические параметры процесса на рабочем месте напыления, такие как напряжение дуги, расход транспортирующего порошок газа для используемого инжектора в заданной позиции, температуру и расход охлаждающей воды, определение места утечки воды и пр. Компьютеры на панели управления также обеспечивают мониторинг старения системы напыления, например, эрозии электродов плазмотрона, вызывающей снижение напряжения дуги, которое может автоматически корректироваться путем увеличения расхода плазмообразующего газа для подъема напряжения обратно до начального установленного значения.

2. Развитие фундаментальных представлений о теплофизических и динамических процессах при ГТНП и совершенствование техники лабораторных экспериментов и методов измерения параметров процесса ГТНП и его отдельных стадий [8–21]:

генерация напылительных высокотемпературных и скоростных газовых струй и определение их параметров;

плавление и распыление исходных материалов компактной формы, ускорение и перенос образующихся частиц;

ввод частиц порошка в напылительные газовые струи, их ускорение и нагрев;

распределение температуры и скорости напыляемых частиц в газовых струях;

распределение траекторий частиц в напылительных струях и влияние расхода транспортирующего газа на эти траектории;

распределение скорости и температуры частиц при ударе с подложкой;

взаимодействие частиц порошка с поверхностью детали (деформирование частиц и подложки, схватыва-

ние взаимодействующих материалов, формирование структуры покрытия); теплообмен и напряженно-деформированное состояние в системе «покрытие-подложка».

Обобщению результатов исследований в области теории и практики методов ГТНП во многом способствовало регулярное проведение Международных и национальных конференций по газотермическому напылению [22–25 и др.], а также организация и издание специализированного международного журнала по технологии газотермического напыления «Journal of Thermal Spray Technology» (с 1992 г.). Много результатов исследований по ГТНП публикуется в других международных и отечественных научно-технических журналах: «Автоматическая сварка» (ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины), «Порошковая металлургия» (ИПМ НАН Украины), «Физико-химическая механика материалов» (г. Львов, НАН Украины), «Физика и химия обработки материалов», «Сварочное производство», «Упрочняющие технологии и покрытия» (Россия), «Surface & Coatings Technology», «Applied Surface Science», «Science and Technology of Advanced Materials» и многих др.

Современные системы автоматизированного проектирования позволяют при минимальных затратах времени и материальных средств изучать и исследовать процессы ГТНП. Поэтому разработка математических и программных средств для компьютерного моделирования ГТНП получила широкое распространение. Программные средства разработаны для комплексного моделирования процессов плазменного, высокоскоростного газопламенного, электродугового, детонационного и др. методов напыления [26–28]. Использование экспериментальных измерений и расчетов по моделям обеспечивает переход от метода

проб и ошибок к научному подходу, постепенно трансформируя воспроизведение и управление реальными процессами ГТНП от ремесла к научно обоснованным решениям.

В течение начального периода много усилий уделялось стандартизации средств для определения свойств покрытий и контроля эксплуатационных свойств покрытий в заданных условиях.

В конце 1990-х гг. были разработаны простые и надежные датчики, работоспособные в жестких условиях процессов ГТНП [29, 30]. Интенсивные исследования взаимосвязей между параметрами частиц в полете и свойствами покрытий [30–33] привело к более глубокому пониманию механизмов формирования и соответствующего улучшения технологической воспроизводимости и надежности покрытий. Однако, выявление связей операционных параметров ГТНП со свойствами покрытий еще далеко от завершения [33].

В 1990-е гг. дальнейшее развитие ГТНП стимулировало разработку сенсоров для лабораторных исследований, которые стали основой для разработки датчиков, менее сложных, проще и надежнее, способные работать в жестких условиях кабин для напыления [6, 34]. Параллельно были разработаны компьютеризованные системы, обеспечивающие непрерывный контроль в реальном времени макроскопических параметров в процессе напыления в кабинах. Стандартизация средств для контроля качества покрытий, разработка компьютеризованных систем контроля, панелей контроля и датчиков существенно повысило воспроизводимость и надежность ГТНП.

Современные газотермические покрытия и их получение. На ранней стадии развития технология ГТНП использовалась главным образом для ремонта, восстановления, подгонки,

защиты поверхностей от коррозии, эрозии и износа [6, 35]. В 1970-е–1980-е гг. благодаря разработкам измерительных средств в промышленных условиях и моделированию в лабораториях было достигнуто улучшение понимания явлений, сопутствующих напылению. Параллельно широкое признание технологии ГТНП в промышленных масштабах привело к началу применения на компонентах с высокой добавленной стоимостью в аэрокосмической и ядерной промышленности. Это там где главным образом продвигалось, где отсутствовали работоспособные альтернативные решения и конструкторы и ученые работали с довольно сложными процессами [1]. В конце 1980-х – начале 1990-х гг. широкий ряд промышленных процессов модифицирования поверхности стали доступными. В этот период в авиационной, автомобильной, машиностроительной, полиграфической, целлюлозно-бумажной, стекольной, медицинской и других отраслях газотермические покрытия развивались главным образом для защиты от коррозии.

В настоящее время существует большое количество как процессов и технологий для получения покрытий, так и материалов, доступных на рынке.

Высокая гибкость ГТНП достигается благодаря широкому ряду технологий и оборудования, доступных на рынке, и непрерывным разработкам и исследованиям в течение всей истории ГТНП. Кроме того, различные технологии и оборудование позволяют напылять также большое разнообразие материалов, пригодных для многих применений.

Материалы газотермических покрытий. В табл. представлены наиболее распространенные материалы, появившиеся за время существования техники ГТНП, и основные области их применения.

Таблица

Материалы техники ГТНП и области их применения

Материал покрытия	Максимальная рабочая температура, °C	Области применения
Al	400	Коррозионная стойкость
Zn	250	
Ni	500	Подслои
Mo	320	Пары скольжения
Al-Mg	200	Коррозионная стойкость
Нерж. сталь	~500	Коррозионная стойкость, износ
Co-Al ₂ O ₃ и Cr ₂ O ₃	~1000	Стойкость к окислению и износу
CoMoSi (Трибалой)	~1000	Износостойкость при скольжении
NiAl, NiCr	950	Подслои, ремонт
Ni-графит	950	Поверхности скольжения
MCrAlY (M=Fe, Co, Ni)	~1000	Стойкость к коррозии и окислению
Бронза	<200	Износостойкость при скольжении
TiC, Cr ₃ C ₂ , NbC, TaC, WC	400-500	Износостойкость
WC-TiC	800	
Cr ₃ C ₂ -NiCr	800	Коррозия, износ, скольжение
WC-Co	500	Износостойкость при скольжении
Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , ZrO ₂	>1000	Износостойкость, тепловой барьер
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , Al ₂ O ₃ -MgO	>1000	
Cr ₂ O ₃ -TiO ₂ , Cr ₂ O ₃	>1000	
ZrO ₂ -MgO, ZrO ₂ -CaO, ZrO ₂ -SiO ₂	>1000	

Рынок газотермического напыления. Согласно данным, опубликованным в 2013 г. [36], объем рынка техники ГТНП в аэрокосмической и автомобильной промышленности и в производстве турбин занимают 75 %

ее общего рынка, который оценочно составляет 6,5 млрд., из которых 77 % приходится на покрытия и услуги, 19 % на материалы и 4 % на оборудование. По отдельным сегментам: около 60 % общего рынка принадлежат турбостроению, 15 % – автомобильной промышленности, и остальные 25 % распределены между большим количеством других отраслей. Ожидается, что турбостроение будет ведущей в развитии технологии ГТНП в последующие годы. Большинство этих рынков (две третьих) находится в Европе, Ближнем Востоке и в Северной Америке. Наибольшие темпы роста наблюдались в Азии [37] и ожидаются в Южной Африке в связи с ростом промышленного производства в этих регионах.

Имеется большой потенциал в отраслях, в которых ГТНП хорошо внедряется, и в тех, где проникновение их незначительно. К перспективным относятся следующие отрасли [38]:

- материалов для электронных приборов и другие применения в электронике, такие как датчики, электропроводки, антенны, накопители энергии и др.;

- удовлетворения требований экологии в автомобильной промышленности, уменьшения трения и расхода масел, улучшения работоспособности;

- авиационных турбин с новыми конструкциями и составами теплозащитных покрытий, которые работоспособны при более высоких температурах, с более высоким сроком службы и на различных топливах;

- повышения стойкости в средах кальция-магния-алюмосиликата, ванадия, паров воды и к эрозии;

Некоторые случаи применения ГТНП на современных рынках аэрокосмической и автомобильной промышленности, турбостроения рассмотрены в [5]. Отличительной особенностью этих применений является

общая тенденция преимущественного использования классических методов ГТНП – газопламенного и плазменного. В аэрокосмической промышленности и турбостроении плазменное напыление применяют для многих деталей, поскольку в них наиболее распространены керамические покрытия. На многие детали самолетов напыляют также металлы и керметы.

Наиболее распространенными в ведущих отраслях экономики являются следующие типы покрытий:

1. Теплозащитные: $ZrO_2-Y_2O_3$;
 $ZrO_2-25CeO_2-Y_2O_3$; CeO_2-YSZ ;
 $CaTiO_3$.

В аэрокосмической промышленности их применяют на деталях турбин, в автомобильной – на головках поршней, крышках цилиндров, клапанах, выпускных каналах, коллекторах, турбокомпрессорах, опорных дисках тормозов, в турбостроении – для облицовки камер сгорания, на переходных кольцах, отражательных щитках, топливных форсунках.

2. Уплотнительные и истираемые (на сопрягаемых поверхностях):

а) Ni–графит; $MCrAlY$ ($M=Co, Ni$) – в аэрокосмической промышленности применяют для напыления вращающихся деталей турбин, в турбостроении – для напыления корпуса компрессоров;

б) полиэстер; NiAl–полиэстер; Al; бронза; баббит; AlSi с полиэстером; полиимид и BN – в турбостроении для напыления поверхностей корпусов компрессоров.

3. Стойкие к окислению и коррозии:

а) $MCrAlY$ ($M=Co, Ni$); NiCrMo; Co–Cr–Si–Mo (в аэрокосмической промышленности применяют на деталях двигателей, в турбостроении – секций компрессоров, пропускающих влагу и хлориды, и турбин, контактирующих с топливом);

б) Al; Zn; Zn–Al: в автомобиль-

ной промышленности – в системах выпуска; в судостроении – в качестве катодной защиты.

4. Износостойкие и восстановительные:

а) WC–Co, WC–CoCr и WC–Ni (в аэрокосмической промышленности – на деталях гидравлических систем, при восстановлении изношенных и корродированных деталей; в автомобильной – для предохранения гильз цилиндров от схватывания; в турбостроении – на валах; в судостроении – для защиты от эрозии и коррозии водяных турбин);

б) Ni–Al, CuNiIn (в аэрокосмической промышленности – в качестве подслоев покрытий).

Кроме технологических ограничений, присущих методам ГТНП, имеется ряд других критических факторов, препятствующих росту рынка ГТНП [36]: (1) подготовка квалифицированных кадров и привлечение молодых специалистов; (2) создание типовых технологических процессов ГТНП для различных условий производства; (3) повышение роли профессиональных и торговых ассоциаций в сфере ГТНП; (4) сокращение времени на трансфер новых технологий ГТНП; (5) уменьшение капитальных и текущих затрат при внедрении ГТНП в промышленное производство; (6) решение проблем экологии, охраны труда.

Заключение. Современные технологии газотермического напыления являются результатом проведения большого объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, прежде всего, по запросам наукоемких отраслей промышленности. В индустриально развитых странах формируется самостоятельная наукоемкая отрасль газотермического напыления, которая охватывает разработку, исследование и производство: защитных и функциональных покрытий; специальных ма-

териалов для ГТНП; средств и методов контроля качества газотермических покрытий; оборудования для ГТНП; оборудования и инструментов для обработки покрытий и пр. Все это предопределяет дальнейшее развитие техники ГТНП и задачей ученых и

производственников нашей страны является удержание на работоспособном уровне всех достижений в этой области и интенсивное развитие в ближайшем будущем этого прогрессивного технического направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полонський Л. Г. Техніка напилення газотермічних покриттів (машинна стадія розвитку, XVI–XX ст.): Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 266 с.
2. Энфенджян Т. А. Высокотехнологичный комплекс и обеспечение экономической безопасности России // Проблемы современной экономики. 2009. – № 4. – С. 28–38.
3. Турко Д. А. Анализ методических подходов к формированию организационно-экономического механизма принятия решений в высокотехнологичном производстве // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2013. – № 01-02.
4. Скляренко Р. П. Что такое наукоемкий рынок // Агентство научно-технической информации SciTecLibrary.ru. 2014. 23 дек. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6807.htm> (дата обращения: 20.02.2015).
5. Семьянова О. Ю. Маркетинговые стратегии продвижения высокотехнологичных товаров на рынок: автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т экономики и финансов, 2007. – 18 с.
6. Davis, J.R., Davis & Associates, (Eds.), 2004. Handbook of Thermal Spray Technology. ASM International, Materials Park, OH, USA.
7. Tucker Jr., C. (Ed.), 2013. ASM Handbook. Thermal Spray Technology, vol. 5A. 412 p.
8. Friis, M., Persson, C., 2003. Control of thermal spray processes by means of process maps and process windows. J. Therm. Spray Technol. 12(1), 44–52.
9. Кудинов В. В., Бобров Г. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 432 с.
10. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильющенко, В. А. Оковитый, С. П. Кундас, Б. Форманек. – Минск: Бестпринт, 2002. – 480 с.
11. Кудинов В. В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
12. Кудинов В. В., Иванов Е. М. Теплофизика плазменных покрытий // Физика и химия плазменных металлургических процессов. – М.: Наука, 1985. – С.103–126.
13. Оптические методы исследования потоков / Ю. Н. Дубнищев, В. А. Арбузов, П. П. Белоусов, П. Я. Белоусов. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2003. – 418 с.
14. Гуляев П.Ю., Долматов А.В. Физические принципы диагностики в технологиях плазменного напыления // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – №5(2). – С. 381–385.
15. Диагностика низкотемпературной плазмы / А.А. Овсянников, В. С. Энгельшт, Ю. А. Лебедев и др. – Новосибирск: Наука, 1994. – 485 с.
16. Методы и средства оптической пирометрии – М.: Наука, 1983. – 149 с.
17. Particle-in-flight monitoring in thermal spray processes / M. Doubenskaia, D. Novichenko, A. Sova and D. Pervoushin // Surface and Coatings Technology, 2010, vol. 205, issue 4, p. 1092–1095.
18. Fauchais, P., Vardelle, M., 2010. Sensors in spray processes. J. Therm. Spray Technol. 19(4), 668–694.
19. Fauchais, P., Coudert, J.F., Vardelle, M., 1989. Diagnostics in thermal plasma processing.
20. In: Auciello, O., Flamm, D. L. (Eds.), In: Plasma Diagnostics, vol. 1. Academic Press, NY, USA, pp. 349–446.
21. Fauchais, P., et al., 1992. Diagnostics of thermal spraying plasma jets. J. Therm. Spray Technol. 1(2), 117–128.
22. Moreau, C., Bisson, J.-F., Lima, R.S., Marple, B.R., 2005. Diagnostics for advanced materials processing by plasma spraying. Pure Appl. Chem. 77(2), 443–462.

23. Получение покрытий высокотемпературным распылением. Сб. статей. Под ред Л. К. Дружинина и В. В. Кудинова. – М.: Атомиздат, 1973. – 312 с.
24. Thermal Spray Conf. Proceedings. – ASM International.
25. Теория и практика газотермического нанесения покрытий. – М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана. – 1991. – 244 с.
26. Газотермическое напыление в промышленности: Матер. междунар. семинара. – Ленинград, 1991. – 104 с.
27. Процессы плазменного нанесения покрытий: теория и практика / А. Ф. Ильющенко, С. П. Кундас, А. П. Достанко и др. – Минск: Научный центр исследований политики и бизнеса «Армита – Маркетинг, Менеджмент», 1999. – 544 с.
28. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. В 3-х т. Т. 1 / А. П. Достанко, С. П. Кундас, М. Н. Босьяков и др. – Минск: ФУАинформ, 2000. – 424 с.
29. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А. Ф. Ильющенко, В. А. Оковитый, С. П. Кундас, Б. Форманек. – Минск: Бестпринт, 2002. – 480 с.
30. Li, C.-J., Wu, T., Li, C.-X., Sun, B., 2003. Effect of spray particle trajectory on the measurement signal of particle parameters based on thermal radiation. J. Therm. Spray Technol. 12(1), 80–94.
31. Fauchais, P., Vardelle, M., 2010. Sensors in spray processes. J. Therm. Spray Technol. 19(4), 668–694.
32. Legoux, J.-G., Arsenault, B., Leblanc, L., Bouyer, V., Moreau, C., 2002. Evaluation of four high velocity thermal spray guns using Wc-10 % Co-4 % Cr cermets. J. Therm. Spray Technol. 11(1), 86–94.
33. Planche, M. P., Bolot, R., Coddet, C., 2003. In-flight characteristics of plasma sprayed alumina particles measurements, modeling, and comparison. J. Therm. Spray Technol. 12(1), 101–111.
34. Sampath, S., Srinivasan, V., Valarezo, A., Vaidya, A., Streibl, T., 2009. Sensing, control, and in situ measurement of coating properties: an integrated approach toward establishing process-property correlations. J. Therm. Spray Technol. 18 (2), 243–255.
35. Fauchais, P., Heberlein, J., Boulos, M., 2014. Thermal Spray Fundamentals. Springer, NY, USA, 1600 p.
36. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings: Second Edition Lech Pawlowski, 2008 John Wiley & Sons, Ltd.
37. Dorfman, M. R., Sharma, A., 2013. Challenges and strategies for growth of thermal spray markets: the six-pillar plan. J. Therm. Spray Technol. 22(5), 559–563.
38. Fukumoto, M., 2008. The current status of thermal spraying in Asia. J. Therm. Spray Technol. 17(1), 5–13.

Харламов Ю.А., Полонский Л.Г., Ночвай В.М., Яновский В.А., Хейфец М.Л.

Переход к наукоемким технологиям газотермического напыления. *В статье в историко-техническом аспекте рассмотрены особенности развития и внедрения наукоемких технологий газотермического напыления, обеспечивающих решение многих актуальных проблем в различных отраслях промышленности.*

Ключевые слова: *история техники, газотермического напыления, наукоемкие технологии*

Kharlamov Y.A., Polonsky L.G., Nochvay V.M. Yanovsky V.A., Heifetz M.L. The transition to high technologies of thermal spraying. In an article in the historical and technical aspects of the peculiarities of the development and implementation of high technologies gas-thermal spraying, providing solutions to many urgent problems in various industries.

Keywords: *history of technology, thermal spraying, high technologies*