

<https://doi.org/10.51301/jemet.2024.i4.02>

Advantages of using a spray gun to increase the wear resistance of machine parts

A.S. Tolen*, M.F. Kerimzhanova

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: 000808500739-M@stud.satbayev.university

Abstract. In the modern world, with the dynamic development of technology, increasing the wear resistance of parts has not been left aside. At the development stage, the relevance of solving the issue of wear resistance remains incompletely resolved. Each part experiences stress and eventually wears out. This is one of the main issues in mechanical engineering. Thanks to the development of technology, we can choose several methods for increasing wear resistance that have merit and advantage. One of them is metal spraying. This scientific work will present this method. Metal spraying is one of the main types of metal coating and modern methods of increasing wear resistance. It is relatively cheaper and more accessible than other types of metal coating.

Keywords: cold gas-dynamic spraying, powder materials, repair technologies, protective coatings, increasing wear resistance.

1. Введение

Термическое напыление постоянно используется для удовлетворения потребностей, возникающих в связи с эволюцией мирового рынка и спроса, оказываемое ценовой конкуренцией, продуктом и нормативами на материалы, требований охраны окружающей среды, здоровья и безопасности. Однако, эти трудности часто возникают наряду с возможностями, например, экологическими проблемами о хромировании гальваники шестивалентного хрома привели к замене твердого хромового покрытия «более экологичными» покрытиями для термического напыления. Промышленность реагирует на эти вызовы целым рядом способов. К ним относятся традиционные заботы промышленности (например, снижение затрат, повышение качества и надежности, повышение производительности и прибыльности благодаря подходам бережливого производства) и более рискованные подходы (например, разработка новых процессов нанесения покрытий методом термического напыления, инновационные конструкции плазмотронов, новые материалы покрытий). Однако, наука часто отстает от этих разработок, а технологические проблемы могут замедляться или даже остановить их. Многие университеты и научно-исследовательские институты, во всем мире пытаются лучше понять науку, лежащую в основе газотермического напыления и использовать ее для решения этих проблем.

Эта статья направлена на выявление проблем, возникающих текущими потребностями рынка и предложить направления исследований и приоритеты для решения этих задач.

Основная задача, чтобы выбрать правильную технологию по газотермическому напылению путем

исследования и изучения опытных экспериментов. Будет рассмотрен вид холодного газодинамического напыления (ХГН) [1].

2. Методы и материалы

Холодное газодинамическое напыление (также называемое холодным напылением или кинетическим напылением) является современной технологией напыления процессов вида термического, включая плазменное напыление. При холодном напылении сжатые инертные газы (обычно азот и гелий) ускоряют частицы порошка (обычно металлические частицы диаметром от 10 до 100 мкм) в сопле Де Лавала до сверхзвуковой скоростью (до 1000 м/с) до поверхности детали. Применяется подогрев технологического газа до температуры до 1000°C для достижения более высокой скорости распыления газа, проходящего через горло сопла и, следовательно, более высокие скорости частиц. Рисунок 1 схематично иллюстрирует установку ХГН. Частицы аэрозоля впрыскиваются внутрь сопла для направления на подложку, которая подлежит покрытию. При распылении на металл частицы пластически деформируются, что приводит к течению материала снаружи контактной зоны, нарушая тонкие поверхностные оксидные пленки (эффект очистки).

Частица поверхности локально нагревается при высокой деформации скорости, вызывающие термическое размягчение материала до пороговых значений, превышающих компенсацию деформационного упрочнения и скорости деформации упрочнения, что приводит к адиабатической сдвиговой нестабильности. Это приводит к тесному конформному контакту между открытыми металлическими поверхностями, позволяющему механически и

происходит металлургическое соединение, приводящее к образованию покрытия. На рисунке 2 представлены примеры ХГН [2]. Пример демонстрирует, что металлургическое соединение с помощью АСИ происходит на границах раздела частиц с подложкой, обеспечивая более высокую прочность по сравнению со слоем материала [6].

Частицы TiAlV64 после распыления по титановой поверхности, демонстрируют высокую степень локальной деформации и металлургической связи на границах раздела удаляемой частицы. Эффективность осаждения может достигать более 90%, в результате получаются покрытия с очень низким уровнем пористости. Процесс температуры газа обычно поддерживается в определенном диапазоне, распыляемые частицы никогда не подвергаются воздействию температур, близких к точке их плавления. Следовательно, процесс называют как твердотельный процесс. Таким образом, можно распылять чувствительные к температуре материалы, такие как титан (и сплавы), медь (и сплавы), алюминий (и сплавы), нанокристаллические материалы и металлические стекла без влияния на фазовый состав порошкового сырья и на оксидное загрязнение [3].

В покрытиях ХГН обычно присутствуют сжимающие остаточные напряжения, позволяющие строить толстые покрытия (слои). Таким образом, ХГН можно использовать не только для построения покрытий, но и для ремонта и восстановления деталей в процессе аддитивного производства [4].

Ремонт холодным напылением до сих пор был, в основном, направлен на восстановление размеров, обеспечивая при этом защиту от коррозии (окисления, износа). Металлический порошок, распыленный для восстановления детали, может быть, а может и не быть из того же металла, что и восстанавливаемая деталь.

Достижения в области науки и техники для удовлетворения испытания. За последние два десятилетия ХГН превратился из метода лабораторного осаждения в надежный процесс для применений, требующих высокой чистоты покрытия сохранение уникальных свойств сырья. На рисунке 3 показана схема центрального процессора (ЦП), блок охлаждения, обработанный ХГН (Ref 15). Различные производители предлагают ряд оборудования ХГН, каждый из которых представляет свою собственные преимущества и имеющие свою потенциальную нишу рынка и с некоторыми успешными коммерческими приложениями, либо в качестве покрытия или в качестве процесса ремонта/восстановления.

Многие материалы были успешно распылены с помощью ХГН, включая Al, Cu, Ni, Ti, Ag, Zn, Ta, Nb и их сплавы а также композиты, такие как Cu-W, Al-SiC, Al-Al₂O₃. В настоящее время ХГН используется в военной, аэрокосмической и энергетической отрасли.

3. Результаты и обсуждение

Среди проблем, с которыми сталкивается ХГН, главной является востребованность на рынке и диверсификация. Несмотря на то, что многие установки были адаптированы для военной, аэрокосмической и энергетической промышленности, ХГН по-прежнему не

имеет востребованности на «массовом рынке», достигнутого процессами плазменного напыления и напыления HVOF, и еще не вызвал интереса в других областях.

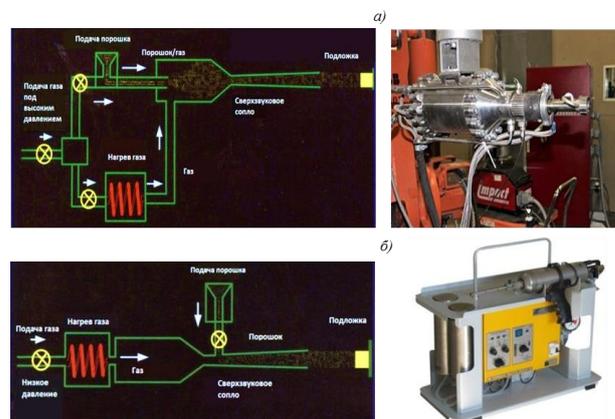


Рисунок 1. Установки для нанесения ХГН-покрытий: с высоким (а) и низким давлением (б) [5]

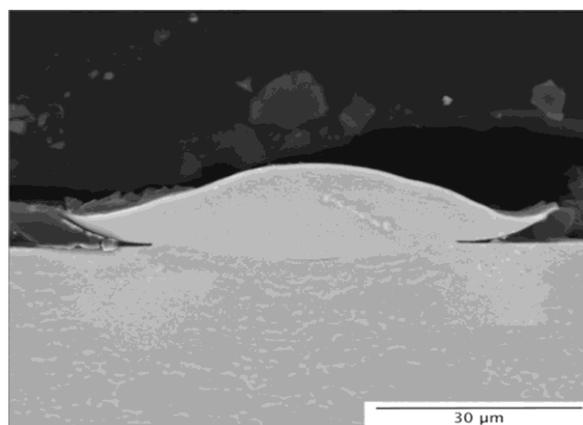


Рисунок 2. Одиночные покрытия частиц TiAlV 6 4 с холодным напылением на титане, показывающие (слева) поперечное сечение, (в центре) уплощение частиц и струи в перспективе, и (справа) частицу, которая была удалена со слоя

Это можно объяснить отсутствием выхода на общие рынки, которые представляют большой потенциал для ХГН. Немногие ремонтные мастерские имеют действующие и доступные системы ХГН, но требуется время, чтобы получить новые спецификации, предназначенные для покрытий ХГН. В частности, циклы утверждения ремонта могут занимать некоторое время и быть дорогостоящими. Таким образом, крайне важно постоянно привлекать промышленность к информированию и обучению потенциальных пользователей, не знакомых с напылением металла, о преимуществах, проблемах и, в конечном счете, успехах ХГН.

Компания, продающая ХГН сталкивается с техническими трудностями в связи с тем, что в продаже имеется всего несколько порошков, специально предназначенных для этого процесса. Таким образом, подавляющее большинство покрытий и ремонтов, производимых ХГН, не использует оптимальные исходные порошки. Текущие усилия направлены на разработку спецификаций процесса и исходного сырья, чтобы обеспечить повышенную производительность за счет специализированных по-

рошков исходного сырья в отношении фазового состава и чистоты, влияющих на необходимую деформируемость. Спецификации также направлены на настройку распределения размеров порошка, поскольку более мелкие и более крупные частицы могут быть не в состоянии воздействовать на подложку с достаточной скоростью, чтобы вызвать пластическую деформацию и сцепление.

За последние несколько лет ХГН рассматривался как потенциальный процесс аддитивного производства (АП), который мог бы дополнить процессы АП с порошковым слоем. Простые детали АМ были изготовлены методом холодного напыления, но те, о которых сообщалось, были ограничены небольшими размерами. Переход использования ХГН за рамки покрытий и размерных реставраций к сложным приложениям аддитивного производства сопряжен с рядом технических проблем, поскольку ХГН сталкивается с рядом коммерческих барьеров, как и другие методы АП [8,9,10]. Основными преимуществами ХГН как аддитивного процесса по сравнению с лазерными процессами являются, главным образом, минимальные затраты тепла в процессе и существенно более высокие скорости осаждения, которые могут быть достигнуты. Эти преимущества потенциально позволяют использовать процесс без необходимости инертной среды. Что касается использования термообработки для постобработки, необходимые усилия могут быть аналогичны усилиям для лазерного АП.

За последние два десятилетия ХГН превратился из метода лабораторного осаждения в надежный процесс для применений, требующих высокой чистоты покрытия и сохранения уникальных свойств исходного сырья.



Рисунок 3. Автоматизированные комплексы для нанесения ХГН-покрытий [7]

Однако, адаптация существующих методов производства порошкового сырья или разработка новых инновационных процессов производства порошков исходного сырья, адаптированных к ХГН, имеют первостепенное значение для дальнейшего развития технологии.

Потенциал ХГН занять нишу в качестве процесса аддитивного производства неоспорим, но он находится на ранней стадии. На этапе проектирования методологии построения АП должны быть адаптированы к специфике ХГН (например, характерное разрешение пятна и профиль, связанный с геометрией сопла и динамикой потока частиц газа) с использованием таких инструментов как моделирование процесса, разработка стратегии построения и инструмента программирования с помощью автоматизированного проектирования / автоматизированного производства (САД/САМ). Хотя достижения на уровне сырья (например, оптимизация сырья или специальные

порошки), а также в разработке оборудования (например, лазерное распыление, механическая обработка на месте и диагностика) позволяют использовать широкий спектр материалов, которые могут быть распылены; получение свойств материала, эквивалентного массе, остается проблемой и необходимо разработать соответствующие операции постобработки. Для перехода от мелкосерийного к массовому производству также требуется дополнительное развитие в области неразрушающего контроля (НК), автоматизации и управления технологическим процессом, а также обеспечение надлежащего выполнения применимых мер по охране окружающей среды, здоровья и безопасности (ОСБ). С инженерной точки зрения, неуверенность в том, будут ли сборки АП работать аналогично обычным деталям, требует разработки строгих квалификационных процедур и критериев приемки.

Чтобы раскрыть весь потенциал ХГН, недавние усилия включают междисциплинарные подходы, включающие базовые науки о материалах и технологии производства. В новых разработках материалов функциональные свойства очень хорошо адаптированы к приложениям. До сих пор только несколько методов, таких как ХГН, сводящих к минимуму тепловложение, могут сохранить или гарантировать желаемое поведение материалов. Возможность сохранить функциональные свойства порошка в покрытиях или массивных деталях обещает совершенно новый спектр разработок и рынков.

4. Выводы

Приходим к выводу, что данный метод можно использовать в аддитивном производстве. Он имеет достаточно ряд преимуществ, чтобы занять нишу в аддитивном производстве. Метод современный, его использует во многих отраслях машиностроения, в военной промышленности, энергетической, аэрокосмической и других отраслях промышленности. Он позволяет применить несколько видов порошков и покрытий, что дает хорошую возможность упрочнить деталь или узел сборки. Также метод позволяет повысить износостойкость изделия и механизм выполнения напыления. ХГН доказывает свою эффективность уже более 30 лет. За счет динамики развития технологии производится автоматизированное оборудование для ХГН, что существенно повышает производительность и облегчает процесс обработки.

References / Литература

- [1] Kablov, E.N. (2015). *Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda»*. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 1(34), 3–33. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33>
- [2] Kablov, E.N. & Starcev, O. V. (2015). *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya korrozii i starenija materialov v klimaticheskikh uslovijah (obzor)*. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 4(37), 38–52. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52>
- [3] Kablov, E.N., Starcev, O.V. & Medvedev, I.M. (2015). *Obzor zarubezhnogo opyta issledovaniy korrozii i sredstv zashhity ot korrozii*. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2(35), 76–87. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87>

- [4] Kablov, E.N., Nikiforov, A.A., Demin, S.A., Chesnokov, D. V. & Vinogradov, S.S. (2016). Perspektivnye pokrytija dlja zashchity ot korrozii uglerodistykh stalej. *Stal'*, 6, 70–81
- [5] Vinogradov, S.S., Nikiforov, A.A., Demin, S.A. & Chesnokov, D.V. (2017). Zashchita ot korrozii uglerodistykh stalej. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 5, 242–263. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263>
- [6] Tucker, R.C. (2013). *Thermal Spray Technology. ASM Handbook, Volume 5A*
- [7] Database. (2016). Global Thermal Spray Market—Segmented by Product Type, By End-User Industry, and Geography—Trends and Forecasts. *Mordor Intelligence*
- [8] Ganvir, A., Curry, N., Björklund, S., Markocsan, N. & Nylén, P. (2015). Characterization of microstructure and thermal properties of YSZ coatings obtained by axial suspension plasma spraying (ASPS). *Journal of Thermal Spray Technology*, 24(7), 1195–1204. <https://doi.org/10.1007/s11666-015-0263-x>
- [9] Ganvir, N., Curry, N., Markocsan, P., Nylén, S., Joshi, M., Vilemova, M. & Pala, Z. (2016). Influence of Microstructure on Thermal Properties of Axial Suspension Plasma-Sprayed YSZ Thermal Barrier Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 25(1–2), 202–212
- [10] Gao, L., Wei, L., Guo, H., Gong, S. & Xu, H. (2016). Deposition mechanisms of yttria-stabilized zirconia coatings during plasma spray physical vapor deposition. *Ceramics International*, 42(4), 5530–5536. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.12.111>

Машина бөлшектерінің тозуға төзімділігін арттыру үшін бүріккішті қолданудың артықшылығы

Ә.С. Төлен*, М.Ф. Керимжанова

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: 000808500739-M@stud.satbayev.university

Андатпа. Қазіргі әлемде технологияның қарқынды дамуымен бөлшектердің тозуға төзімділігін арттыру шетте қалмады. Даму кезеңінде өзектілігі тозуға төзімділік мәселесін шешу толық шешілмеген күйінде қалады. Әрбір бөлік соңында тозуға ұшырайтын жүктемелерді бастан кешіреді. Бұл басты мәселелердің бірі машина жасау саласында. Технологияның дамуының арқасында біз бірнеше әдістерді таңдай аламыз тозуға төзімділікті арттыру лайықты және артықшылығы бар. Олардың бірі-металлды бүрку. Бұл ғылыми жұмыста осы әдіс ұсынылады. Металды бүрку түрлерінің бірі болып табылады металды жабу негізгі және заманауи әдістер болып табылады тозуға төзімділікті арттыру. Ол салыстырмалы түрде арзан және қол жетімділігімен ерекшеленеді басқа түрлеріне қарағанда металл жабыны.

Негізгі сөздер: суық газдинамикалық бүрку, ұнтақ материалдары, жөндеу технологиялары, қорғаныс жабындары, тозуға төзімділікті арттыру.

Преимущество применения напыления для повышения износостойкости деталей машин

Ә.С. Төлен*, М.Ф. Керимжанова

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: 000808500739-M@stud.satbayev.university

Аннотация. В современном мире при динамичном развитии технологий повышение износостойкости деталей не осталось в стороне. На этапе развития актуальность решение вопроса по износостойкости остается не полностью решенными. Каждая деталь испытывает нагрузки, которая в конце испытывает износ. Это одно из главных вопросов в машиностроении. Благодаря развитию технологий мы можем выбрать несколько методов повышения износостойкости которые имеют достоинство и преимущество. Одно из них - это напыление металла. В данной научной работе будет представлен данный метод. Напыление металла одна из видов покрытие металла основных и современных методов повышения износостойкости. Она отличается относительной дешевизной и доступности чем другие виды покрытие металла.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, порошковые материалы, ремонтные технологии, защитные покрытия, повышение износостойкости.

Received: 18 August 2024

Accepted: 16 December 2024

Available online: 31 December 2024