

УДК 735.29

А. Т. Бердибеков, В. В. Грузин, А. В. Доля

*Национальный университет обороны имени Первого Президента
Республики Казахстан - Елбасы, Нур-Султан, Казахстан*

ПОВЫШЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены характеристики основных способов предварительной подготовки поверхностей деталей и металлоконструкций для напыления газотермических покрытий. Дана оценка, наиболее технологичных методов обеспечения высокой прочности сцепления покрытия с основой. Например, таких как механическая активация (механические способы обработки со снятием и без снятия стружки, комбинированные способы механической обработки); обработка свободными абразивами (вибрационная, виброхимическая, центробежная, ультразвуковая, струйно-абразивная); предварительное нанесение подслоев из молибдена, никеля, никелевых сплавов, композиционных порошков методами газотермического напыления и электроискровая обработка. Также раскрыты, какие условия необходимо учитывать при подготовке поверхности к нанесению различных покрытий, и соответственно от каких, факторов зависит выбор способа подготовки. Предложена классификация методов обработки поверхностей перед газотермическим напылением.

Данная научная статья опубликована в рамках выполнения научной программы программно-целевого финансирования на 2021-2023 годы ИРН № BR109015-0221 «Разработка технологии защитных покрытий поверхностей вооружения и военной техники для защиты от агрессивных факторов окружающей среды и условий эксплуатации» (исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан).

Ключевые слова: очистка, предварительная, комбинированная, электроискровая, абразивная, обработка, активация, подслои, подложка, напыление, шероховатость, стружка, нарезка резьбы, сцепление.

Военно-техническая политика является важнейшей составляющей военной политики государства и одним из механизмов обеспечения национальной безопасности страны.

Как известно [1], основными объектами военно-технической политики являются системы вооружения Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований, оборонно-промышленный комплекс государства, сфера военно-технического сотрудничества.

Из этого видно, что на первом месте стоит система вооружения и военной техники, где основные детали изготавливаются из высококачественных легированных сталей высокой твердости. Например, в качестве материалов ствольных заготовок для стрелковых изделий применяются высококачественные углеродистые стали (сталь 50А, сталь 50РА), а для заготовок труб автоматических пушек – высоколегированные стали типа 30ХНМФА, 30ХН2МФА [2]. Ввиду их высокой твердости ремонт таких деталей требует специальных способов восстановления. В этой связи внедрение в производство прогрессивных способов обработки деталей является актуальной задачей.

Одним из прогрессивных способов обработки поверхностей деталей является сверхзвуковое газотермическое напыление покрытий (ГТНП). Данный способ позволяет получать покрытия с высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью. При этом восстанавливаемая деталь подвергается минимальному температурному воздействию и её физико-механические свойства не претерпевают таких изменений [3].

Однако ГТНП пока не находит широкого применения из-за недостаточного сцепления (адгезии) газотермических покрытий с обрабатываемой поверхностью.

Современная тенденция повышения адгезионных свойств напыляемых покрытий направлена на увеличение скорости распыляемых частиц. Однако при этом не уделяется достаточного внимания предварительной подготовке напыляемой поверхности. Подготовка поверхности перед напылением является неотъемлемой частью технологического процесса нанесения покрытий, поскольку она очищает и химически активизирует подложку.

Существуют различные методы подготовки поверхности перед напылением газотермических покрытий [4-8] очищающие их и выводящие из состояния термодинамического равновесия со средой, освобождая межатомные связи поверхностных атомов. Наиболее распространенные из них: термическая активация (нагрев поверхности основы); механическая активация (механические способы обработки со снятием и без снятия стружки, комбинированные способы механической обработки); обработка свободными абразивами (вибрационная, виброхимическая, центробежная, ультразвуковая, струйно-абразивная); предварительное нанесение подслоев из молибдена, никеля, никелевых сплавов, композиционных порошков методами газотермического напыления; электроискровая обработка никелевым электродом; химическое травление; активация подложки дуговым разрядом; очистка тлеющим разрядом, катодное распыление. Выбор способа подготовки поверхности зависит от многих факторов, таких как вид наносимого покрытия; толщина покрытия; метод напыления; конфигурация и размеры изделия; функциональное назначение изделия. Соответственно при подготовке поверхности нужно учитывать следующие условия:

- способ подготовки должен всегда создавать шероховатость, обеспечивающую прочное сцепление покрытия с основой;

- подготовленная поверхность должна находиться при комнатной температуре, так как это обусловлено тем, что если его температура ниже 0°C, то образование слоя конденсационной воды значительно снижает прочность сцепления покрытия с основой;

- края участка у подготавливаемой поверхности должны заходить, по меньшей мере на 20 мм за края подлежащего напылению участка;

- подготовку поверхности следует производить без применения охлаждающих средств;

- после подготовки поверхность не должна соприкасаться с маслами, жирами, водой и т.д. Также не следует трогать подготовленное изделие руками. При переворачивании изделия во время обработки или напыления можно применять только чистый обезжиренный инструмент (щипцы) или рукавицы;

- напылять изделие нужно тотчас после обработки, или обязательно в тот же день, т.е. подготавливать поверхность можно только в том случае, если за этим

последует напыление. Это особенно касается изделий, которые подготавливают и напыляют на открытом воздухе;

- если непосредственное напыление подготовленной поверхности невозможно или она загрязнилась, увлажнилась, ее следует еще раз обработать абразивными средствами;

- если подготовленную деталь необходимо транспортировать, ее нужно упаковать в бумагу во избежание загрязнения [5, 6].

Необходимо отметить, что обеспечение требуемой шероховатости напыляемой поверхности не снимает такие вопросы подготовки поверхности как предварительная промывка, удаление влаги, масла, а также окисной пленки. Особенно мешают хорошему сцеплению с основой масла, выступающие из пор вследствие соударения горячих напыляемых частиц, поэтому обязательным является еще и обезжиривания. Обезжиренное изделие высушивают чистым сжатым воздухом. Таким образом, способы подготовки поверхности напрямую влияют на прочность сцепления с основой. Нами рассмотрены характеристики основных методов предварительной подготовки поверхностей перед газотермическим напылением покрытий (ГТНП) и дана оценка наиболее технологичных с точки зрения обеспечения высокой прочности сцепления покрытия с основой.

Как сказано выше, механические способы подготовки поверхности основы бывают со снятием и без снятия стружки. Механические способы обработки со снятием стружки: нарезание рваной резьбы, фрезерование насечки, фрезерование канавок клиновидной формы, насечка канавок зубилом, нарезание кольцевых канавок, иглофрезерование. Механические способы обработки без снятия стружки: накатка резьбы, косая сетчатая накатка, обработка методами поверхностного пластического деформирования. Основными достоинствами механической обработки поверхности являются простота и технологичность процесса. Механические способы подготовки основы со снятием стружки и обработка абразивами создают на изделии концентраторы напряжений и вызывают неравномерные изменения структуры основного металла, снижают усталостную прочность.

Механические способы подготовки основы без снятия стружки повышают усталостную прочность на 20 - 30%, обеспечивают поверхностный наклеп и увеличивают контактную выносливость. Обработка металлической поверхности механическими методами оказывает заметное влияние на величину энергии активации [9]. Пластические деформации, возникающие в процессе обработки, порождают многочисленные дефекты в кристаллической решетке материала. Атомы в несовершенной кристаллической решетке обладают более высокой потенциальной энергией, что приводит к уменьшению энергии активации. Способы подготовки поверхности, главным образом, зависят от состава и структуры основного материала, параметров шероховатости, основных механических характеристик приповерхностного слоя, твердости, плотности, теплофизических свойства, величины и знака остаточных напряжений, толщины и свойств оксидной пленки и адсорбированных слоев, наличия и основных характеристик промежуточных подслоев, формы деталей машин и металлоконструкции. Например, накатку применяют, для подготовки стальных незакаленных деталей, работающих при высоких динамических нагрузках, и она подходит только для деталей цилиндрической формы. Условия нарезки рваной резьбы, предусматривает при напылении покрытий толщиной более

1,0 мм на детали, работающие в условиях повышенных нагрузок. Однако резьба не подходит для обработки твердых и хрупких материалов, и поверхностей неправильной формы, а также нецелесообразно для тонкого покрытия. Более того снижаются прочностные характеристики деталей, в частности сопротивление усталости. Фрезерование канавок клиновидной формы осуществляют дисковой фрезой или соответствующим строгальным резцом, они не должны быть слишком глубокими, потому что потом затруднительно выполнять напыление. Такую обработку применяют для нанесения толстых покрытий на плоские поверхности. Обработку поверхности насечкой производят вручную или с помощью пневматического зубила. Расстояние между насечками должно составлять 2-5 мм. Этот способ применяют для цветного литья. При этом целесообразна последующая обдувка абразивами, так как описываемый способ увеличивает активную поверхность изделия, но не придает поверхности необходимой шероховатой структуры.

Пескоструйную и дробеструйную обработку проводят для повышения шероховатости поверхности при подготовке деталей различной формы и твердости, достоинствами которой являются малая энергоемкость и высокая производительность, но пескоструйный способ связан с загрязнениями и в некоторых случаях не обеспечивает достаточного уровня адгезионной прочности напыляемых покрытий.

При комбинированной подготовке поверхности совмещают различные виды механической подготовки поверхности под напыление, как например, нарезка полукруглой резьбы с прикатным роликом, нарезка резьбы с последующей струйно-абразивной обработкой и т.д. Также существует такое понятие, как «разведенная» нарезка, суть которого заключается в следующем, после нарезки рваной резьбы возможна ее разводка специальным инструментом. Этот инструмент срезает ребра нарезки на расстоянии примерно 4 мм и одновременно смещает их вправо или влево. Таким образом, создаются очень хорошие условия для сцепления покрытия с основой [5], но существуют недостатки некоторых совокупных способов, например нарезки резьбы и накатки.

Предварительное нанесение подслоев перед ГТНП применяется при значительном различии коэффициентов термического расширения материала покрытия и основы, которая характеризуется высокой производительностью и возможностью применения для деталей различной формы, однако в связи с повышенной себестоимостью восстановления деталей и трудоемкостью процесса этот метод недостаточно широко применим.

Электроискровая обработка применяется при подготовке поверхности деталей из малоуглеродистых сталей при напылении толстых слоев на плоскости и поверхности вращения, достоинствами которой считается обеспечение хорошего сцепления покрытия с подложкой за счет повышения шероховатости, возможность применения для деталей различной формы, размеров и твердости поверхности ($HRC > 40$), а также мобильность оборудования, но при относительно низкой производительности.

Таким образом, анализ способов подготовки поверхностей показал, что наивысшую прочность сцепления покрытия с основой обеспечивает электроискровая обработка, далее нарезка рваной резьбы, затем нарезка резьбы с последующей

накаткой роликом, накатка, пескоструйная обработка, предварительное нанесение подслоев.

На основании изложенного предлагаем классификацию методов предварительной обработки поверхностей деталей и конструкций перед напылением газотермических покрытий (рисунок 1).

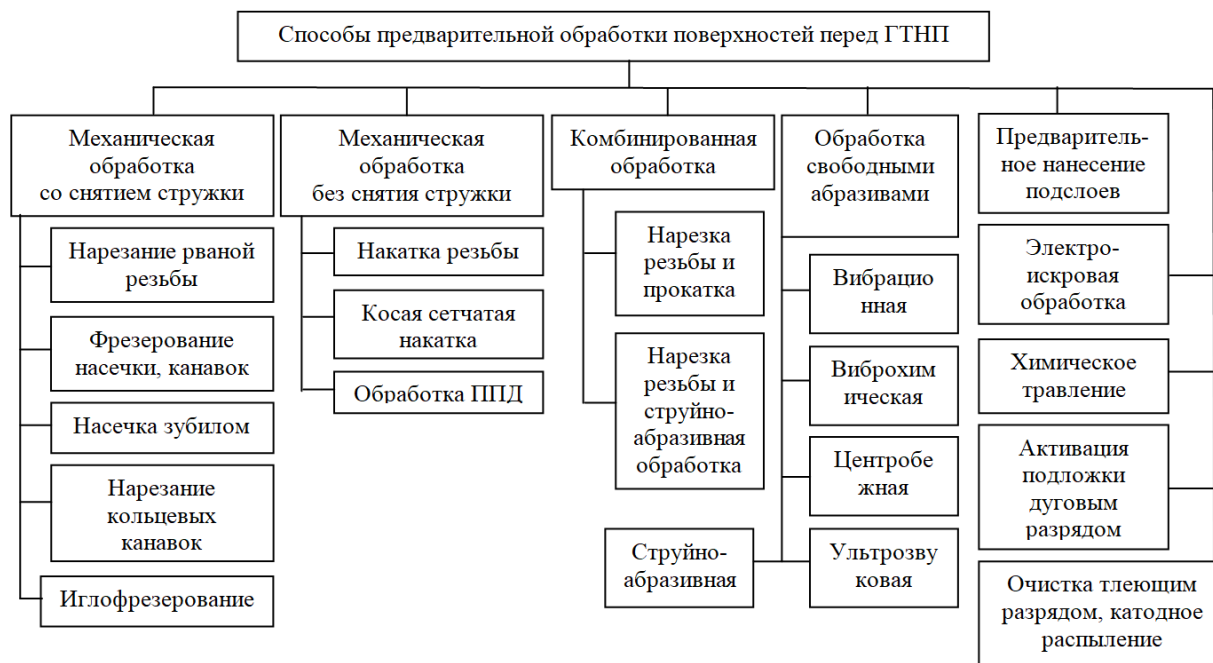


Рисунок 1 - Классификация методов обработки поверхностей перед ГТНП

Список литературы

1. Об утверждении Военной доктрины Республики Казахстан: Указ Президента РК от 29 сентября 2017 года № 554 // Казахстанская правда. – 2017, 5 октября.
2. Туктанов, А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учеб. для студентов вузов / А. Г. Туктанов. – М.: Машиностроение, 2007. – 375 с.
3. Новые методы напыления покрытий в машиностроении: учебное пособие / С. Нураков, М. А. Белоцерковский – Астана: Национальный университет обороны имени Первого Президента Республики Казахстан – Лидера Нации, 2017. – 178 с.
4. Концепция развития подвижных средств восстановления бронетанкового вооружения и техники и военной автомобильной техники на период до 2030 года: офиц. текст. – М.: Изд-во ГАБТУ МО РФ, 2016. – 275 с.
5. Нураков С., Белоцерковский М.А. Новые методы напыления покрытий в машиностроении. – Астана: Национальный университет обороны имени Первого Президента Республики Казахстан – Лидера Нации, 2017. – 178 с.
6. Нураков С., Белоцерковский М.А. Современные технологии напыления износостойких и защитных покрытий. – Астана: Национальный университет обороны имени Первого Президента Республики Казахстан – Лидера Нации, 2017. – 128 с.
7. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А. Газотермические покрытия из порошковых материалов. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 210 с.

8. Витязь П. А., Ивашко В. С. Теория и практика газопламенного напыления. – Минск: Наука и техника, 1993. – 295 с.
9. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. // Под ред. Б.С. Митина. – М.: Металлургия, 1987. – 186 с.

References

1. Ob utverzhdenii Voennoj doktriny Respubliki Kazahstan: Ukaz Prezidenta RK ot 29 sentyabrya 2017 goda № 554 // Kazahstanskaya pravda. - 2017, 5 oktyabrya.
2. Tuktanov, A. G. Tekhnologiya proizvodstva strelkovo-pushechnogo i artillerijskogo oruzhiya: ucheb. dlya studentov vuzov / A. G. Tuktanov. – M.: Mashinostroenie, 2007. – 375 s.
3. Novye metody napyleniya pokrytij v mashinostroenii: uchebnoe posobie / S. Nurakov, M.A. Belocerkovskij – Astana: Nacional'nyj universitet oborony imeni Pervogo Prezidenta Respubliki Kazahstan – Lidera Nacii, 2017. – 178 s.
4. Konceptsiya razvitiya podvizhnyh sredstv vosstanovleniya bronetankovogo vooruzheniya i tekhniki i voennoj avtomobil'noj tekhniki na period do 2030 goda: ofic. tekst. – M.: Izd-vo GABTU MO RF, 2016. – 275 s.
5. Nurakov S., Belocerkovskij M.A. Novye metody napyleniya pokrytij v mashinostroenii. – Astana: Nacional'nyj universitet oborony imeni Pervogo Prezidenta Respubliki Kazahstan - Lidera Nacii, 2017. – 178 s.
6. Nurakov S., Belocerkovskij M.A. Sovremennye tekhnologii napyleniya iznosostojkih i zashchitnyh pokrytij. – Astana: Nacional'nyj universitet oborony imeni Pervogo Prezidenta Respubliki Kazahstan - Lidera Nacii, 2017. – 128 s.
7. Borisov YU.S., Harlamov YU.A. Gazotermicheskie pokrytiya iz poroshkovyh materialov. - Kiev: Naukova Dumka, 1987. – 210 s.
8. Vityaz' P. A., Ivashko V. S. Teoriya i praktika gazoplamnennogo napyleniya. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1993. – 295 s.
9. Poroshkovaya metallurgiya i napylennye pokrytiya. // Pod red. B.S. Mitina. – M.: Metallurgiya, 1987. – 186 s.

А. Т. Бердибеков, В. В. Грузин, А. В. Доля

*Қазақстан Республикасының Тұңғыш Президенті – Елбасы атындағы
ұлттық қорғаныс университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

ГАЗДЫ ТЕРМИЯЛЫҚ БҮРКУ КЕЗІНДЕ ЖАБЫНДАРДЫҢ АДГЕЗИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АРТТЫРУ

Аңдатпа. Газды термиялық жабынды бүрку үшін алдын ала бөлшектердің және темір құрылымдардың беткі қабатын дайындаудың негізгі тәсілдерінің сипаттамалары қаралды. Негізбен жабынның жоғарғы берік ілінуін қамтамасыз ететін неғұрлым технологиялық әдістерге баға берілді. Мысалы, механикалық белсендіру (жоңқаларды алу және жоңқаларды алусыз өңдеу механикалық тәсілдер, механикалық өңдеудің аралас тәсілдері); еркін абразивтермен өңдеу (дірілдеумен, виброхимиялық, центрден тепкіш, ультрадыбысты, ағысты-абразивті); молибден, никель, никель қорытпаларынан, композициялық ұнтақтардан қабаттарды газды термиялық бүрку тәсілдерімен алдын ала жағу және электрұшқындық өңдеу сияқты. Сондай-ақ, әр түрлі жабындарды жағуға дайындау кезінде қандай шарттарды ескеру қажет және қандай факторларға дайындау тәсілін таңдау байланысты екендігі ашылды. Газотермиялық жабынның алдында беттерді өңдеу әдістерінің жіктелуі ұсынылды.

Бұл ғылыми мақала ЖТН № BR109015-0221 «Қоршаған ортаның агрессиялық факторларынан және пайдалану жағдайларынан қорғау үшін қару-жарақ пен әскери техниканың беттерін қорғау технологиясын әзірлеу» 2021-2023 жылдарға арналған бағдарламалық-мақсатты қаржыландырудың ғылыми бағдарламасын орындау шеңберінде жарияланды (зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады).

Түйінді сөздер: тазалау, алдын ала, аралас, электрұшқындық, абразивті, өңдеу, белсендіру, қабаттың асты, төсем, бүрку, кедір, жаңқа, бұранданы кесу, ілінісу.

A.T. Berdibekov, V.V. Gruzin, A.V. Dolya

*National Defense University named after the First President of the Republic of Kazakhstan –
Elbasy, Nur-Sultan, Kazakhstan*

INCREASE OF ADHESIVE PROPERTIES OF COATINGS DURING GAS-THERMAL SPRAYING

Abstract. The characteristics of the main methods of preliminary preparation of parts and metal structures for spraying thermal coatings in engineering and construction are considered. The estimation of the most technological methods of ensuring high adhesion strength of the coating with the base is given. For example, such as mechanical activation (mechanical methods of processing with removal and without removal of chips, combined methods of machining); processing by free abrasives (vibration, vibration chemistry, centrifugal, ultrasonic, blasting); preliminary application of sub layers of molybdenum, Nickel, Nickel alloys, composite powders by methods of thermal spraying and electric spark treatment. Also disclosed are the conditions to be considered in preparation for the application of various coatings, and accordingly on what factors depends on the choice of preparation method. A classification of surface treatment methods before thermal spraying is proposed.

This scientific article was published as part of the implementation of the scientific program of program-targeted financing for 2021-2023 of the IRN № BR109015-0221 «Development of technology for protective coatings of surfaces of weapons and military equipment to protect against aggressive environmental factors and operating conditions» (the research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan).

Keywords: cleaning, preliminary, combined, electro spark, abrasive, processing, activation, sub layer, substrate, spraying, roughness, chip, threading, clutch.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Айдар Тоқтамысұлы Бердібеков – полковник, PhD докторы, Қазақстан Республикасының Тұңғыш Президенті - Елбасы атындағы Ұлттық қорғаныс университеті әскери ғылыми-зерттеу орталығының қару-жарақ және әскери техника ғылыми-зерттеу институтының бастығы. Қазақстан, Нұр-Сұлтан, Тұран даңғылы 72.

Владимир Васильевич Грузин – техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасының Тұңғыш Президенті-Елбасы атындағы Ұлттық қорғаныс университеті әскери ғылыми-зерттеу орталығының қару - жарақ және әскери техника ғылыми-зерттеу институтының аға ғылыми қызметкері. Қазақстан, Нұр-Сұлтан, Тұран даңғылы 72.

Александр Валерьевич Доля – капитан, магистр, Қазақстан Республикасының Тұңғыш Президенті-Елбасы атындағы Ұлттық қорғаныс университеті әскери ғылыми-зерттеу орталығының қару-жарақ және әскери техника ғылыми-зерттеу институты инженерлік-техникалық басқармасының зерттеу қызметінің бастығы. Қазақстан, Нұр-Сұлтан, Тұран даңғылы 72.

Бердибеков Айдар Тоқтамысович – полковник, доктор PhD, начальник научно-исследовательского института вооружения и военной техники Военного научно-исследовательского центра Национального университета обороны имени Первого Президента Республики Казахстан - Елбасы. Казахстан, Нур-Султан, проспект Туран 72.

Грузин Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского института вооружения и военной техники Военного научно-исследовательского центра Национального университета обороны имени Первого Президента Республики Казахстан – Елбасы. Казахстан, Нур-Султан, проспект Туран 72.

Доля Александр Валерьевич – капитан, магистр, начальник исследовательской службы инженерно-технического управления научно-исследовательского института вооружения и военной техники Военного научно-исследовательского центра Национального университета обороны имени Первого Президента Республики Казахстан - Елбасы. Казахстан, Нур-Султан, проспект Туран 72.

Aidar Berdibekov – Colonel, PhD, Head of the Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Military Research Center of the National Defense University named after the First President of the Republic of Kazakhstan - Elbasy. Kazakhstan, Nur-Sultan, 72 Turan Avenue.

Vladimir Gruzin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher at the Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Military Research Center of the National Defense University named after the First President of the Republic of Kazakhstan - Elbasy. Kazakhstan, Nur-Sultan, 72 Turan Avenue.

Alexander Dolya – Captain, Master of Science, Head of the Research Service of the Engineering and Technical Department of the Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Military Research Center of the National Defense University named after the First President of the Republic of Kazakhstan - Elbasy. Kazakhstan, Nur-Sultan, 72 Turan Avenue.