

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-66-82

УДК 621.793.71

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАЯЛЬНОГО  
СПЛАВА CuMnCo ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ, СЛОИСТОГО  
КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ (CuMnCo-TiNiZr)  
ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ  
НАПЫЛЕНИЕМ С ФИНИШНОЙ ТВЧ ОБРАБОТКОЙ  
ПОКРЫТИЕ (CuMnCo-TiNiZr)-ПОДЛОЖКА (СТ.45)  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИИ**

**Э.Ю.О. Балаев, Д.А. Клепиков,  
В.Н. Елисеев, Г.В. Шилов**

*В статье показана технологическая последовательность формирования слоистого композитного покрытия на поверхности подложки состоящей из адгезионного слоя, представляющего собой припой состава CuMnCo и основного функционального слоя на основе сплавов с термоупругими фазовыми превращениями TiNiZr, полученных с использованием технологии высокоскоростного газопламенного напыления. С последующей обработкой подложки с композитным покрытием слоистого типа токами высокой частоты (ТВЧ), обеспечивая нагрев покрытия и поверхности детали до температуры плавления адгезионного слоя CuMnCo ( $T_{пл}=1030^{\circ}\text{C}$ ). Показаны исследование структуры и результаты элементного анализа подложки со слоистым композитным покрытием в трех зонах: подложка; адгезионный слой; функциональный слой, после ТВЧ обработки. Показаны границы раздела между слоями и по линии адгезии покрытие/подложка, а также линия разрушения в результате возникающих остаточных напряжений после ТВЧ обработки.*

**Цель** – обоснование использования высокотемпературного состава припоя для повышения адгезии между подложкой и функциональным слоем покрытия.

**Метод или методология проведения работы:** по технологии пайки керамических режущих пластин на тело резца был нанесен состав припоя в качестве адгезионного слоя на экспериментальный образец, после чего упомянутый образец был подвергнут ТВЧ обработке.

**Результаты.** Представлены рекомендации по подбору состава припоя и технологии нанесения и ТВЧ обработки для адгезионного слоя для различных материалов подложки и функционального слоя покрытия и их комбинации.

**Область применения результатов.** Предлагаемая технология позволит обеспечить повышенную адгезионную прочность покрытий с деталями, что в свою очередь расширит области применения металлизации методами газотермического напыления и может быть применена к различным ее типам.

**Ключевые слова:** адгезия; адгезионный слой; припой; межслойная адгезия; композитное покрытие слоистого типа; ТВЧ обработка; высокоскоростное газопламенное напыление

**THE USE OF CUMNCO BRAZING ALLOY  
FOR THE FORMATION OF AN ADHESIVE LAYER,  
LAYERED COMPOSITE COATING (CUMNCO-TINIZR)  
BY HIGH-SPEED FLAME SPRAYING WITH FINISHING  
HIGH FREQUENCY CURRENTS (HFC) TREATMENT  
COATING (CUMNCO-TINIZR)-SUBSTRATE (ST45)  
TO INCREASE ADHESION**

***E. Yu. O. Balaev, D. A. Klepikov,  
V. N. Eliseev, G. V. Shilov***

*The article takes into account the technological structure according to the structure of the formation of composite coating layers on the substrate surface, consisting of an adhesive layer, which is a CuMnCo solder, and an essentially functional layer based on alloys with thermoelastic alloys of TiNiZr compounds, using high-speed flame spraying*

*technologies. Warehousing by processing the substrate with a composite coating with high-frequency currents (HFC), thin heating of the coating and the surface of parts to the melting temperature of the CuMnCo adhesive layer ( $T = 1030^{\circ}\text{C}$ ). results of studying the structure and results of elemental analysis of a substrate with a layered composite coating in three zones: substrate; adhesive layer; functional layer after HFC processing. The structure of the interface between the layers and the adhesion line of the coating/substrate, as well as the line of destruction as a result of a combination of their residual traces after HFC treatment.*

***Purpose** is to justify the use of a high-temperature solder composition for adhesion between the substrate and the dense coating thickness.*

***Methodology** of the work contains according to the technology of soldering ceramic plates on the body of the cutter, there was a cosmetic solder composition as an adhesive layer on the experimental sample, after some thin sample was treated with HFC.*

***Results.** Recommendations on the selection of the composition of the solder and the technology of application and processing of HFC for the adhesive layer for various materials of the substrate and the functional layer and coating were present.*

***Practical implications.** Technology is an increased adhesive strength of surfaces with parts, which in turn expands the scope of the thermal spraying technology and can be applied to its type.*

***Keywords:** adhesion; adhesive layer; solder; interlayer adhesion; composite coating of layers of this type; HFC processing; high-speed flame spraying*

Формирование покрытий методами газотермического напыления сталкивается с проблемой адгезии, в частности при формировании функциональных слоев, о чем свидетельствует ограниченная номенклатура изделий, к которым возможно применение технологии газотермического напыления, как для восстановления деталей, так и при их изготовлении. Ограничение такое связано с прочностными требованиями к изделиям, так как в результате экс-

платации такие покрытия отслаиваются и растрескиваются, что приводит к мгновенному разрушению изделия, такое разрушение имеет критическую скорость и может быть отнесено к хрупкому типу разрушения. Стоит также отметить, что помимо разрушения по линии адгезии покрытие/подложка разрушение может проходить и между слоями (межслойное отслаивание) в результате низкой межслойной адгезии у композитных покрытий слоистого типа.

При этом прослеживается четкая обратная зависимость между толщиной покрытия или слоями покрытия и адгезией. Таким образом, чем толще слой покрытия, тем ниже значение адгезии. При этом адгезия представляет собой значение двух основных составляющих это механической и химической. Так воздействуя на любую составляющую можно влиять на значение адгезии.

Повышение адгезии это задача, которая сегодня стоит перед всеми кто занимается получением на поверхности деталей покрытий методами напыления в частности газотермическими, так как она является одним из основных критериев для оценки работоспособности детали и определения ее, конечных физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств. Так именно повышению адгезионной прочности газотермические способы металлизации обязаны таким разнообразием видов, методов и оборудованию.

При этом наиболее технологически менее затратным приемом является создание адгезионного слоя, задача которого повышение адгезии покрытия с подложкой, подбор подобного слоя заключается по родству к материалу подложки и покрытия, по возможности обеспечивать высокую адгезию, как с материалом подложки, так и с материалом покрытия. Дополнительно к адгезионному слою создается определенный рельеф поверхности детали, а также структура приповерхностного слоя детали, при котором обеспечивается повышение плотности дислокаций. Также данную технологию сопровождают очистка поверхности от органических пленок и масел, а также от оксидных пленок и других поверхностных включений с использованием различных приемов очистки, обезжиривания и травления.

Таким образом, приемы, сопровождающие метод повышения адгезии за счет создания дополнительного адгезионного слоя между подложкой и покрытием или между слоями покрытия, обеспечиваются повышением обеих составляющих адгезии как механической, так и химической. Однако данный прием не удовлетворяет эксплуатационным требованиям большинства деталей, а также все растущим требованиям к большинству используемых в машиностроении деталей.

Еще одной немаловажной проблемой использования металлизации методами газотермического напыления в машиностроении стало все учащающееся использование керамических покрытий так и слоев композитного покрытия, которые имеют низкую адгезию к подложке и к слоям покрытия, в результате чего происходит отслаивание данного покрытия или слоев. Также для керамических типов покрытия характерна и низкая когезионная прочность, для решения данной проблемы используют прием плакирования порошковых частиц керамики порошковыми частицами определенных металлов исполняющих функцию связующего элемента при механноактивации с последующим напылением такой смеси. Однако данный прием при металлизации методами газотермического напыления до конца не решен.

В ходе анализа было замечено, что при напылении в качестве адгезионного слоя покрытия, а в ряде случаев и как связующего элемента для керамических порошковых частиц из легкоплавких сплавов на примере сплавов используемых в припоях для пайки керамических пластин к телу резца, при последующей термической обработке ТВЧ, используя принцип пайки керамических пластин к резцу, возможно, обеспечить оплавление адгезионного слоя с последующей кристаллизацией, обеспечивающей повышение адгезии характерной по прочности соответствующему данному типу пайки. Так нагрев поверхности покрытия с использованием ТВЧ позволяет обеспечить нагрев до нужной температуры поверхностных слоев до определенной глубины. При этом сплав припоя должен иметь температуру плавления ниже температуры плавления подложки и температуры плавления порошковых частиц ма-

териалов используемых при формировании последующих слоев покрытия, а также предыдущих в случаях межслойной адгезии.

При этом стоит отметить, что использование в качестве адгезионного слоя порошкового материала состава, соответствующему составу припоя, можно наблюдать несколько типов пайки, как и ожидать следующие процессы при оплавлении адгезионного слоя предлагаемого состава ТВЧ:

- капиллярная пайка;
- диффузионная пайка;
- контактно-реактивная пайка.

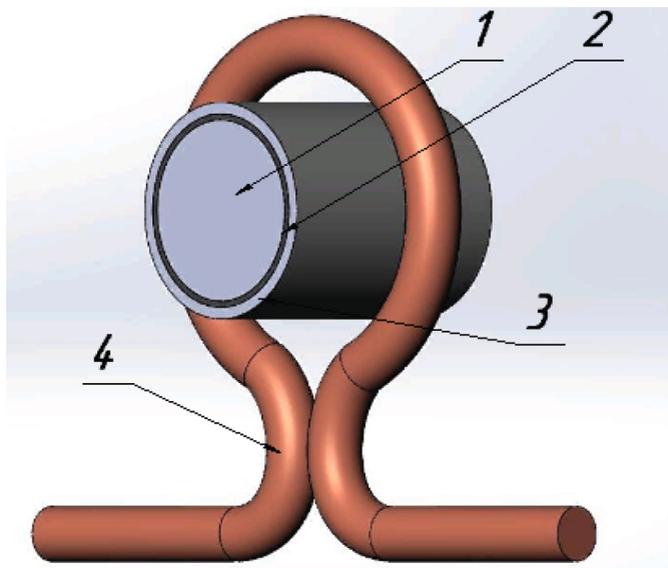
Обусловленные совокупностью особенностей обеспечивающих все условия для протекания процессов характерных для перечисленных типов пайки в частности такие условия как:

- пористость покрытия и особенности формируемого рельефа поверхности подложки;
- сродство материалов припоя и покрытия, а также возможность занятия вакансии в поверхностных слоях детали;
- возможность образования связей между элементами (материалами) жидкой фазы припоя и твердыми фазами слоев покрытия и подложки, главным показателем протекания такого процесса является растворимость в жидкой фазе припоя материалов твердой фазы подложки и слоев покрытия и др.

Таким образом, при использовании предлагаемой технологии можно добиться значительного повышения адгезии, что может быть обеспеченной различными комбинациями явлений протекающих в процессе пайки, а также обеспечить связь слоя покрытия из керамики с подложкой или другими слоями. В данной работе приведены первые результаты исследования с использованием технологических приемов для повышения прочности сцепления основы и покрытия из материала с термоупругими фазовыми превращениями, основанного на принципе формирования адгезионного слоя из порошкового материала состава припоя, используемого для пайки керамических пластин на резцы, с ТВЧ обработкой поверхности детали после формирования всех слоев покрытия.

При обработке технологии получения покрытий на поверхности детали с повышенной адгезионной прочностью использовалась технология пайки керамических режущих пластин на тело резца, вследствие чего для адгезионного слоя был применен состав припоя CuMnCo (Cu-88,5%; Mn-9%; Co-2,5%). Так в качестве основы использовался цилиндрический образец диаметром 10 мм, изготовленного из стали марки Ст.45 широко используемой в машиностроении, на поверхность которого было нанесено покрытие с использованием технологии высокоскоростного газопламенного напыления на установке GLC-720 в защитной атмосфере аргона. Покрытие представляет собой слоистого типа композит состоящее из адгезионного слоя состава CuMnCo (Cu-88,5%; Mn-9%; Co-2,5%) и функционального слоя из сплава  $Ti_{33}Ni_{49}Zr_{18}$  с термоупругими фазовыми превращениями. После чего было проведена термическая зональная поверхностная обработка ТВЧ.

Перед нанесением покрытия проводилась предварительная обработка поверхности детали и напыляемого порошкового материала. Так подготовка основы включает механическую обработку для создания поверхности с развитой микроструктурой с последующей дробеструйной обработкой, и химическую обработку, состоящую из обезжиривания поверхности и травления смесью соляной и азотной кислот. Подготовка наносимого материала заключается в механической активации (МА) материала, обеспечивающей необходимый гранулометрический состав, энергетическое состояние и реакционную способность материала. Механоактивация осуществлялась в шаровой мельнице Гефест-2 АГО-2У, в которой механическое воздействие производится серией последовательных механических импульсов (ударов) от рабочих тел, передающих обрабатываемому материалу порции механической энергии. Принципиальная схема, а также и 3D-модель индуктора и образца, реализации поверхностного нагрева ТВЧ при помощи контура индуктора, повторяющего форму поверхности обрабатываемого образца с покрытием, до температуры плавления припоя показано на рисунке 1.



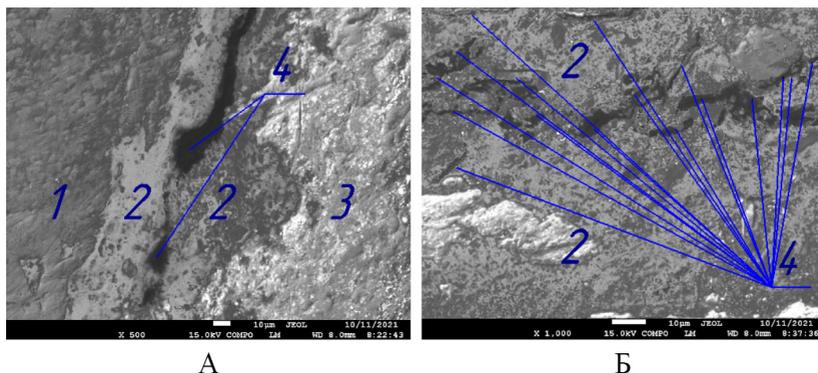
**Рис. 1.** Принципиальная схема ТВЧ обработки образца с покрытием:  
 1 – подложка (образец Ст.45); 2 – адгезионный слой CuMnCo;  
 3 – функциональный слой сплав  $Ti_{33}Ni_{49}Zr_{18}$  с термоупругими  
 фазовыми превращениями; 4 – индуктор ТВЧ.

После проведения всего технологического цикла для получения образца с покрытием с повышенным значением адгезии покрытия-подложка был подготовлен шлиф образца поперечного сечения со стороны торца для дальнейшего изучения получаемой структуры и анализа результатов.

Электронномикроскопические исследования проводились на растровом электронном микроскопе JSM 7500F. Рентгеноспектральный анализ на импульсном спектрометре ядерного магнитного резонанса JNM-ECA 400.

Подготовка поверхности детали перед напылением аналогично подготовке тела резца перед пайкой на него керамической режущей пластины, таким образом, обеспечивается выполнение всех требований по подготовке поверхности перед пайкой или лужением, гарантируя протекание с соблюдением всех технологи-

ческих особенностей процесса пайки (растекание, смачивание и др.), при нагреве ТВЧ поверхности образца со слоистым композитным покрытием до температуры плавления адгезионного слоя состава  $\text{CuMnCo}$  ( $T_{\text{пл}}=1030^\circ\text{C}$ ), соответствующему составу припоя. При этом не происходит оплавление ни верхнего функционального слоя покрытия, ни самой подложки (образца). Стоит отметить, что сопровождающие процессы при таком оплавлении можно характерны нескольким видам пайки, что обусловлено спецификой строения покрытия и рельефа поверхности подложки после подготовки ее перед напылением, а также особенностей структуры и характеристик материалов подложки и покрытия, и их реакционных способностей к взаимодействию с материалом припоя, в частности возможностью образовывать связь (растворяться) твердой фазы материалов подложки и верхнего слоя покрытия и жидкой фазы припоя. Так на рисунке 2 показаны фотографии границы подложка (образец Ст.45)-покрытие (адгезионный слой  $\text{CuMnCo}$ , функциональный слой  $\text{TiNiZr}$  с термоупругим фазовым превращением) шлифа сделанного после обработки ТВЧ.



**Рис 2.** Микроструктура границы подложка (образец Ст.45) – композитное покрытие слоистого типа (адгезионный слой ( $\text{CuMnCo}$ )/функциональный слой ( $\text{Ti}_{33}\text{Ni}_{49}\text{Zr}_{18}$ ) а –  $\times 500$ ; б –  $\times 1000$  и с –  $\times 10000$  полученные после ТВЧ обработки по предлагаемой технологии: 1 – подложка (образец Ст.45); 2 – адгезионный слой  $\text{CuMnCo}$ ; 3 – функциональный слой сплав  $\text{Ti}_{33}\text{Ni}_{49}\text{Zr}_{18}$  с термоупругими фазовыми превращениями; 4 – сформировавшаяся трещина вдоль адгезионного слоя в следствие возникновения больших по значению остаточных напряжений.

Так на фотографиях, показанных на рисунке 2 можно увидеть плотное прилегание адгезионного слоя к подложке и к верхнему функциональному слою. По снимках шлифа можно четко отследить, как припой растекался по контактируемым поверхностям с подложкой и верхним слоем покрытия смачивая их и заполняя имеющиеся поры и пустоты, что характерно капиллярной пайке, результаты исследования приграничных слоев позволяют сделать предварительный вывод, что произошло частичное реагирование, и растворения незначительной части материала твердой фазы подложки и верхнего слоя, сопряженных с припоем находящимся в жидкой фазе, что характерно для контактно-реактивной пайки, при этом также возможно предположить о протекании процессов диффузионной пайки, где атомы материала припоя занимают вакансии и другие дефекты структуры материалов подложки и верхних слоев покрытия. Таким образом, данная совокупность явлений и приводящих к ним процессов протекающих во время расплавления адгезионного слоя вследствие ТВЧ-обработки, сформированного из порошкового материала припоя состава  $\text{CuMnCo}$ , позволяет обеспечить повышения химической и механической составляющих адгезионной прочности. При этом стоит отметить, что проводимая механоактивация как поверхности подложки, так и порошковых материалов непосредственно перед напылением повышает их реакционную способность, что тоже способствует интенсификации выше перечисленных процессов.

При этом согласно рисунку 2 можно увидеть, как вдоль всего адгезионного слоя распространяется трещина примерно равноудаленная на всем протяжении от границы покрытие-подложка. Это говорит о разрушении адгезионного слоя (когезионный тип разрушения) по характеру напоминающий разрушение вследствие возникновения больших по значению остаточных напряжений имеющих скачкообразный переход вида возникающих напряжений с растягивающих на сжимающие напряжения (смена знака), совпадающий с линией развития трещины. Такое разрушение характерно при неверно подобранных режимах поверхностной тер-

мообработки в частности ТВЧ закалки. Однако детальный анализ показал целый комплекс причин способствующих данному типу разрушения. Так возникающие напряжения являются следствием неверно подобранных режимов, в результате чего возникает множество зон имеющих различную структуру в зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения, что характерно для пайки и сварки. Усугубляет данное явление различие в коэффициентах теплового расширения как линейного, так и объемного материалов подложки и слоев покрытия. Также стоит отнести сюда объемное изменение верхнего функционального слоя состава TiNiZr являющихся следствием возникающих фазовых превращений, что характерно для всех материалов проявляющих полиморфизм. При этом возникающая усадка адгезионного слоя вследствие заполнения пор и пустот, а также наличие у самого адгезионного слоя пористой структуры, что характерно газотермическим методам напыления могут приводить к формированию вытянутых пустот, имеющих значительные размеры по двум направлениям в пространстве в сравнении с третьим, вершины которой могут выступать в роли концентраторов напряжений, снижая критическое значение напряжения необходимого для зарождения и распространения (раскрытия) трещины. Таким образом, в результате перечисленной совокупности явления произошло когезионное разрушение адгезионного слоя приведшее к отслоению покрытия от подложки. При этом адгезионная прочность между покрытием и подложкой и между слоями покрытия (адгезионным и функциональным) обеспечивает их плотное сопряжение, что делает данный технологический прием по получению покрытий на поверхности деталей с повышенной адгезионной прочностью возможным, соответственно при проведении комплекса мер по уменьшению или ликвидации негативных последствий явлений перечисленных выше.

Так для снижения негативных последствий от перечисленных явлений, стоит наносить припой или по средствам лужения или после напыления проводить поверхностно-пластическое деформиро-

вание или оплавление ТВЧ. Это позволит обеспечить минимальную пористость и высокую плотность адгезионного слоя, представляющего собой состав припоя, а также протекания всех процессов взаимодействия подложки и припоя, обеспечивающих повышения адгезии между адгезионным слоем и подложкой, что в свою очередь позволит снизить возможную усадку. Также стоит подбирать пары материалов и состав припоя с учетом их объемного и линейного изменения вследствие изменения температур или при фазовых превращениях характерных для материалов имеющих полиморфизм. Также необходимо подбирать режимы ТВЧ обработки это и скорость нагрева и температуру нагрева и скорость охлаждения и глубину воздействия с целью уменьшения возникающих остаточных напряжений а также сместить точку скачкообразного изменения значений напряжений и особенно вида возникающих напряжений с растягивающих на сжимающие напряжения (смена знака), так чтобы данная точка находилась в теле подложки или детали.

Предлагаемый способ получения на поверхности деталей покрытий с повышенной адгезионной прочностью с использованием в качестве адгезионного слоя сплава соответствующему составу припоя с последующей обработкой ТВЧ. Такой адгезионный слой после обработки ТВЧ до температуры плавления припоя используемого в качестве адгезионного слоя обеспечивает растекания и смачивания его с контактируемыми с ним поверхностями. При этом стоит отметить, что данная технология может обеспечить также высокую адгезионную прочность для покрытий, формируемых из керамических порошковых материалов, что может решить проблему применения технологий газотермического напыления для получения функциональных слоев из керамических материалов. Однако использование такого метода получения покрытий с повышенной адгезионной прочностью должны учитывать все особенности технологии ТВЧ обработки, возможную усадку, коэффициенты температурного расширения соединяемых материалов, возможные объемные изменения материалов при фазовых превращениях полиморфных материалов, плотность адгезионного слоя и методы его

получения, а также подбор припоя состава для соединяемых материалов с возможностью обеспечения протекания процессов характерных для трех типов пайки: капиллярной пайки; диффузионной пайки и контактно-реактивной пайки, что в совокупности позволит повысить химическую и механическую составляющие адгезии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Стипендия президента Российской Федерации (договор №СП-399.2019.1)*

### **Список литературы**

1. Балдаев Л.Х. Газотермическое напыление. Учебное пособие. Москва: Market DS, 2007. 344 с.
2. Кадырметов А.М. Технологические возможности и проблемные вопросы плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров // Журнал Вестник ВГТУ. 2011. № 8. С. 79–82.
3. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Полозенко Н.Ю. Формирование структуры и свойств поверхностного слоя стальных изделий электромеханической обработкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. № 4. С. 36–40.
4. Фетисов Г.П. Сварка и пайка в авиационной промышленности. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 229 с.
5. Новосадов В.С., Колужный О.Ю. Физико-химические и механические свойства паяльных соединений и композитов, получаемых методами жидкофазной технологии // Сварочное производство. 2013. № 6. С. 20-26.
6. Ляхов А.А. Новый способ пайки режущего твердосплавного инструмента с использованием ТВЧ // Интеллектуальная собственность и современные техника и технологии для развития экономики: Материалы VI республиканской молодежной научно-практической конференции в рамках Всероссийского студенческого форума «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», Ноябрь 14-15, 2018. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. С. 72-74.

7. Ключко А.Н. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: Металлургия, 1981. 200 с.
8. Петрунин И.Е. Физико-химические процессы при пайке. Москва, 1972. 280 с.
9. Карабанов В.В., Бохоров И.О. Процессы взаимодействия металлов при пайке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 11. С. 8-18.
10. Латыпов Р.А., Латыпова Г.Р., Агеев Е.В. Металлургические процессы при сварка и пайке : учебное пособие. Курск: ЗАО “Университетская книга”, 2014. 58 с.
11. Лукин В.И., Столянков Ю.В., Рыльников В.С., Щербаков А.И. Пайка аморфными припоями // Авиационные материалы и технологии. 2002. № 4. С. 96-102.
12. Макаревич С.С., Клубков А.А. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния в биметаллическом инструменте при пайке // Лесной журнал. 1992. №. 6. С. 62-65.
13. Макаревич С.С., Мрочек Ж.А., Ильющенко А.Ф. Определение остаточных напряжений при пайке пластин из материалов с различными физико-механическими свойствами // Мир Технологий. 2002. № 3. С. 11-18.
14. Валентов А.В., Коноводов В.В., Агафонова Е.В. Прогнозирование остаточных и эксплуатационных напряжений при пайке резцов для обработки наплавленных поверхностей // Вестник НГАУ. 2013. № 1(26). С. 107-110.
15. Balaev E.Yu., Blednova Zh.M. Technological aspects of improving adhesion of TiNiZr coating materials with thermoelastic phase transformations formed by high velocity oxygen fuel spraying // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. №194. P. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/4/042002>
16. Balaev E., Eliseev V. Obtaining a Coating with Increased Adhesive and Cohesive Strength for High-Speed Flame Spraying for a Pair of Materials Coating-Substrate Metal–Metal. In: Mottaeva A. (eds) Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. Vol. 180. Springer, Cham. P. 533-542. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_48)

17. Jones V.D. Fundamentals of powder metallurgy. Pressing and sintering. Moscow, 1965. 403 p.

### *References*

1. Baldaev L.Kh. *Gazotermicheskoe napylenie. Uchebnoe posobie* [Thermal spraying]. Moscow: Market DS, 2007, 344 p.
2. Kadyrmetov A.M. *Zhurnal Vestnik VGTU*, 2011, no. 8, pp. 79–82.
3. Bagmutov V.P., Parshev S.N., Polozhenko N.Yu. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2007, no. 4, pp. 36–40.
4. Fetisov G.P. *Svarka i payka v aviatsionnyy promyshlennosti* [Welding and soldering in the aviation industry]. Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2019, 229 p.
5. Novosadov V.S., Kolyuzhnyy O.Yu. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 6, pp. 20-26.
6. Lyakhov A.A. *Intellektual'naya sobstvennost' i sovremennye tekhnika i tekhnologii dlya razvitiya ekonomiki : Materialy VI respublikanskoj molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh Vserossiyskogo studencheskogo foruma «Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii», Noyabr' 14-15, 2018* [Intellectual property and modern equipment and technologies for the development of the economy: Materials of the VI Republican Youth Scientific and Practical Conference in the framework of the All-Russian Student Forum “Engineering Personnel - the Future of the Innovative Economy of Russia”, November 14-15, 2018]. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2018, pp. 72-74.
7. Klochko A.N. *Osnovy tekhnologii payki i termoobrabotki tverdospлавnogo instrumenta* [Fundamentals of technology for soldering and heat treatment of carbide tools]. M.: Metallurgiya, 1981, 200 p.
8. Petrunin I.E. *Fiziko-khimicheskie protsessy pri payke* [Physical and chemical processes during soldering]. Moscow, 1972, 280 p.
9. Karabanov V.V., Bokhorov I.O. *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii*, 2011, no. 11, pp. 8-18.
10. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageev E.V. *Metallurgicheskie protsessy pri svarka i payke : uchebnoe posobie* [Metallurgical processes in welding and soldering]. Kursk: ZAO “Universitetskaya kniga”, 2014, 58 p.

11. Lukin V.I., Stolyankov Yu.V., Ryl'nikov V.S., Shcherbakov A.I. *Aviationnyye materialy i tekhnologii*, 2002, no. 4, pp. 96-102.
12. Makarevich S.S., Klubkov A.A. *Lesnoy zhurnal*, 1992, no. 6, pp. 62-65.
13. Makarevich S.S., Mrochek Zh.A., Il'yushchenko A.F. *Mir Tekhnologii*, 2002, no. 3, pp. 11-18.
14. Valentov A.V., Kononovodov V.V., Agafonova E.V. *Vestnik NGAU*, 2013, no. 1(26), pp. 107-110.
15. Balaev E.Yu., Blednova Zh.M. Technological aspects of improving adhesion of TiNiZr coating materials with thermoelastic phase transformations formed by high velocity oxygen fuel spraying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 194, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/4/042002>
16. Balaev E., Eliseev V. Obtaining a Coating with Increased Adhesive and Cohesive Strength for High-Speed Flame Spraying for a Pair of Materials Coating-Substrate Metal–Metal. In: Mottaeva A. (eds) *Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 180. Springer, Cham., pp. 533-542. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_48)
17. Jones V.D. *Fundamentals of powder metallurgy. Pressing and sintering*. Moscow, 1965, 403 p.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Балаев Эйтибар Юсиф Оглы**, старший преподаватель кафедры наземного транспорта и механики  
*Кубанский государственный технологический университет*  
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация  
[balaev1122@mail.ru](mailto:balaev1122@mail.ru)

**Клепиков Дмитрий Алексеевич**, студент  
*Кубанский государственный технологический университет*  
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация  
[Klepikov.Dmtr@gmail.com](mailto:Klepikov.Dmtr@gmail.com)

**Елисеев Владимир Николаевич**, инженер кафедры наземного транспорта и механики

*Кубанский государственный технологический университет  
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация*

**Шилов Герман Вячеславович**, студент

*Кубанский государственный технологический университет  
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация  
germanshilov8989@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Etibar Yusif Ogli Balaev**, Senior Lecturer of the Department of Land  
Transport and Mechanics

*Kuban State Technological University  
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation  
balaev1122@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5736-302X>*

**Dmitriy A. Klepikov**, student

*Kuban State Technological University  
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation  
Klepikov.Dmtr@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5370-6408>*

**Vladimir N. Eliseev**, Engineer of the Department of Land Transport  
and Mechanics

*Kuban State Technological University  
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7415-8578>*

**German V. Shilov**, student

*Kuban State Technological University  
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation  
germanshilov8989@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-6758>*

Поступила 02.06.2022

После рецензирования 30.06.2022

Принята 02.07.2022

Received 02.06.2022

Revised 30.06.2022

Accepted 02.07.2022