

ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ МЕДИ И МЕДЬ-ЦИНК, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Москвитин Г.В., Архипов В.Е., Пугачев М.С.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: газодинамическое напыление, когезия, адгезия, фазовый состав, трибологические свойства.

Аннотация. Исследуются покрытия на основе меди и медь-цинк, полученные методом газодинамического напыления и нанесенные на подложку из стали 40Х. Приведены результаты трибологических испытаний, а также оценка когезионной и адгезионной прочности рассматриваемых покрытий в зависимости от температуры их нанесения. Установлено, что максимальная когезионная прочность покрытия меди составляет 165 МПа при температуре нанесения 180°C, а покрытия медь-цинк 78 МПа при 450°C, определенная методом «кольцевого отрыва». Адгезия покрытия меди может достигать 48,6 МПа, нанесенного при температуре 540°C, определенная при испытаниях на сдвиг. Трибологические испытания покрытия меди в среде индустриального масла показали низкую интенсивность износа, а покрытие медь-цинк его полное отсутствие при нагрузках до 10 МПа. Полученные результаты позволяют рекомендовать покрытия меди и медь-цинк, полученные газодинамическим напылением, для ответственных функциональных поверхностей испытывающих высокие прочностные и трибологические нагрузки.

COATINGS BASED ON COPPER AND COPPER-ZINC OBTAINED BY GAS-DYNAMIC SPRAYING

Moskvitin G.V., Arkhipov V.E., Pugachev M.S.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: gas-dynamic spraying, cohesion, adhesion, phase composition, tribological properties.

Abstract. The coatings based on copper and copper-zinc obtained by gas-dynamic spraying and applied to a substrate made of 40X steel are investigated. The results of tribological tests are presented, as well as an assessment of the cohesive and adhesive strength of the coatings under consideration, depending on their application temperature. It is established that the maximum cohesive strength of the copper coating is 165 MPa at a deposition temperature of 180°C, and the copper-zinc coating is 78 MPa at 450°C, determined by the "ring separation" method. The adhesion of the copper coating can reach 48.6 MPa applied at a temperature of 540°C, determined during shear tests. Tribological tests of the copper coating in an industrial oil environment showed a low wear rate, and the copper-zinc coating showed its complete absence at loads up to 10 MPa. The results obtained allow us to recommend copper and copper-zinc coatings obtained by gas-dynamic spraying for critical functional surfaces experiencing high strength and tribological loads.

Технологии нанесения покрытий различного функционального назначения широко используются для повышения физико-механических характеристик поверхности деталей, изделий и конструкций, например сопротивления разрушению под воздействием статических нагрузок растяжения, сжатия или контактных нагрузок в условиях скольжения пар трения. Наиболее важными характеристиками покрытий, определяющими возможность сопротивляться

разрушению при эксплуатации, является когезионная (когезия) и адгезионная (адгезия) прочность нанесённого слоя металла, а также интенсивность изнашивания в различных условиях. Преимуществами газодинамических покрытий являются возможность их нанесения в полевых условиях, используя мобильность газодинамических установок, при этом разогрев стальной подложки не будет превышать 135°C , а также способность получать покрытия толщиной более 1 мм при любой геометрии поверхности. К недостаткам таких покрытий относится то, что на изделие наносится всего 30% исходного объема используемого порошка, при этом помещение, в котором осуществляется нанесение покрытия и сам персонал требует специализированной защиты от летящих частиц, не закрепившихся в покрытии [1]. Покрытие наносится полосками (слоями) шириной 5 мм, имеющими форму полукруга в сечении и для получения равномерного покрытия плоской поверхности необходимо смещать один слой относительно другого с определенной степенью перекрытия для получения необходимых свойств наносимого слоя. Свойства получаемых покрытий существенно зависят от технологических режимов их нанесения.

Целью работы являлась оценка влияния технологических режимов напыления на механические и трибологические свойства медно и медно-цинковых покрытий, полученных газодинамическим напылением.

Определение когезионной прочности покрытий на основе меди и медь-цинк с подложкой из стали 40Х проводили методом кольцевого отрыва [2, 3]. Максимальная когезионная прочность покрытия меди составляет 165 МПа при температуре нанесения 180°C (рис. 1). Покрытие медь-цинк наносится при температуре 450°C , его когезия составляет 78 МПа. Покрытие меди при температуре 450°C имеет когезионную прочность 88 МПа, что несколько выше, чем у покрытия медь-цинк, нанесенного при той же температуре и объясняется диффузией меди в цинк и формированием твёрдого раствора электронного типа на базе Cu_5Zn_8 (γ -фазы) в достаточно большом количестве.

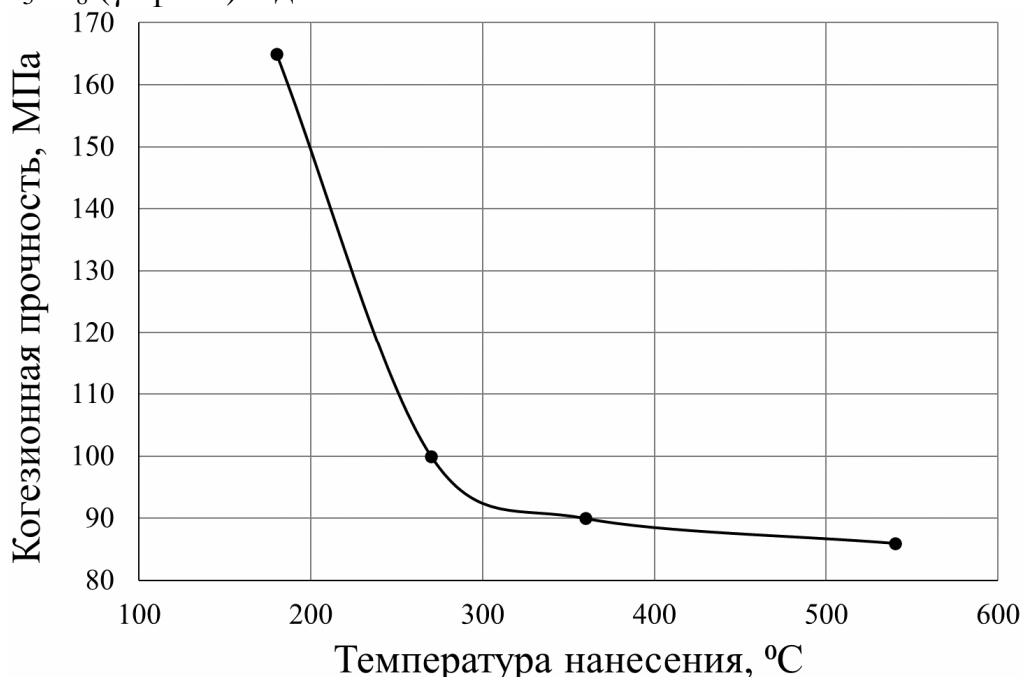


Рис. 1. Зависимости когезии от температуры напыления при растяжении медного покрытия методом «кольцевого отрыва»

Использование механической смеси порошков меди, цинка и корунда позволяют получить медно-цинковые покрытия типа «латуни» на основе меди, цинка и твёрдых растворов электронного типа на базе CuZn_3 (ϵ - фаза) и Cu_5Zn_8 (γ – фаза), присущих латуням [4]. Термическая обработка нанесённого медно-цинкового покрытия в печи при температуре 425°C и временем выдержки до 180 мин сопровождалась диффузией цинка в медь с формированием покрытия, которое по химическому и фазовому составу соответствует латуни марки Л65 [5]. Когезионная прочность такого покрытия приведена на рисунке 2.

Адгезионная прочность покрытия меди определялась при испытании на сдвиг пояска из покрытия, нанесенного на подложку в виде цилиндра из стали 40Х (рис. 3). Максимальное значение адгезии медного покрытия составляет 48,6 МПа при нанесении с температурой 540°C .

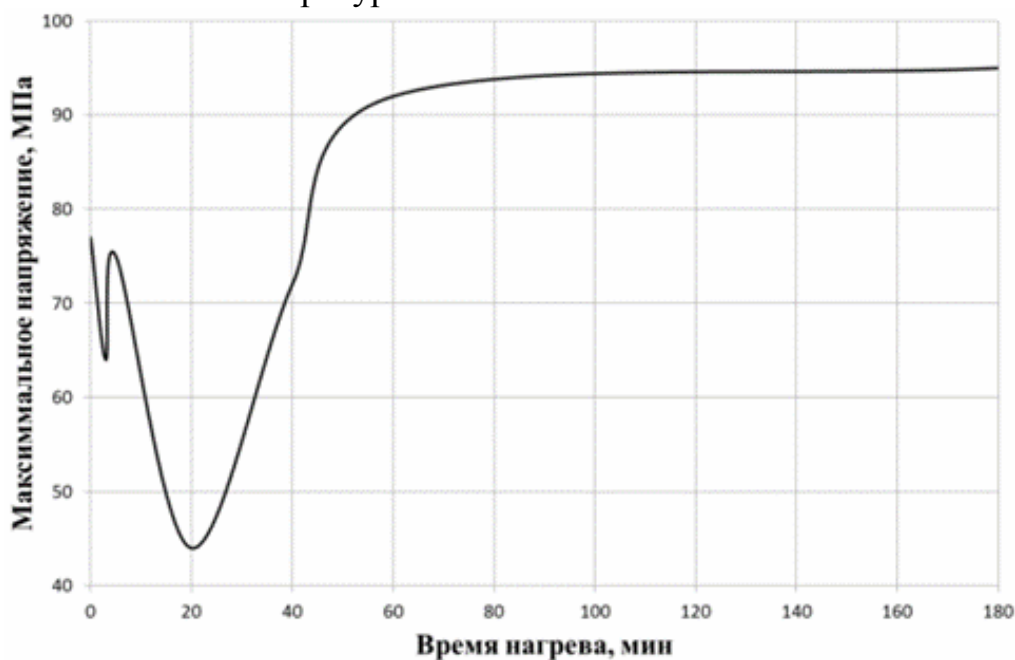


Рис. 2. Зависимость когезионной прочности покрытий на основе смеси частиц меди и цинка от времени термической обработки при температуре 425°C

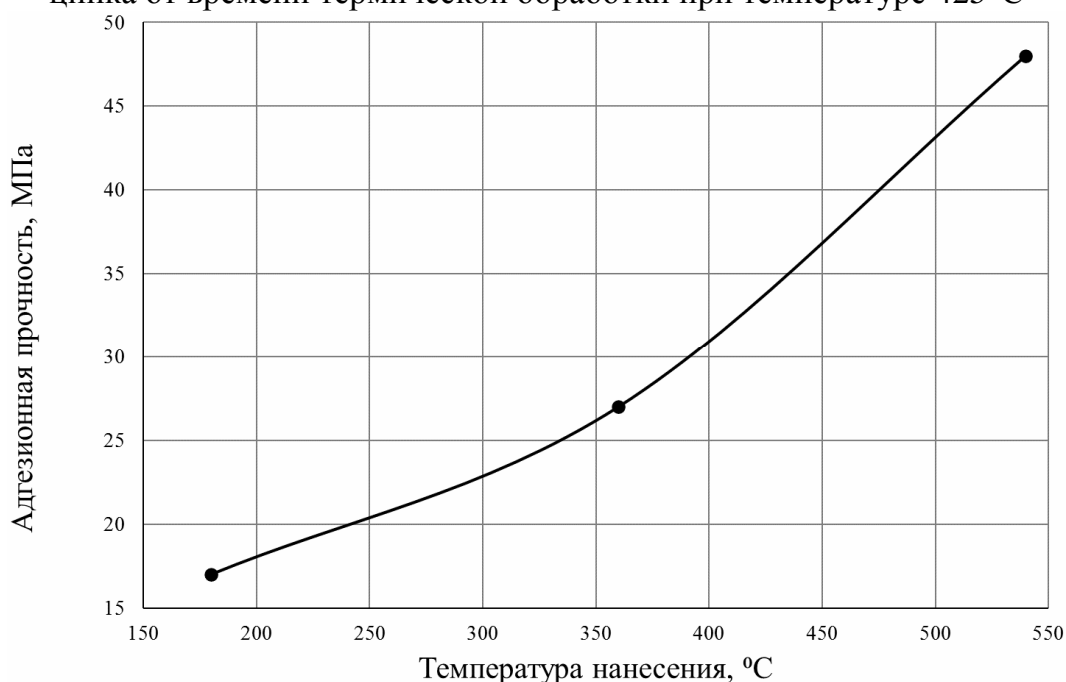


Рис. 3. Зависимости адгезии от температуры напыления при сдвиге медного покрытия

Триботехнические испытания пар трения сталь ШХ15 – сталь ШХ15 с покрытием меди проводились на стенде МТ-8 возвратно-поступательного движения сопряжённых плоских образцов при удельных нагрузках до 10 МПа. Результаты испытаний показали, что износостойкость покрытия соизмерима с её показателями при трении в режиме избирательного переноса [6], когда потери на износ предельно малы. Покрытие, полученное методом газодинамического напыления при температуре нанесения 450°C, обладает высокой работоспособностью при испытаниях в условиях трения и изнашивания, при этом интенсивность изнашивания I_h (покрытия) $\approx (1,1-1,5) \times 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx 0,3 \times 10^{-11}$ при трении в минеральном масле И-20А. Покрытие нанесенное при температуре 270°C имеет более низкую износостойкость, которая составляет I_h (покрытия) $\approx (2,2-2,6) \times 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx 0,4 \times 10^{-11}$.

Аналогичные испытания покрытия медь-цинк показывают, что после небольшого пути трения при минимальной нагрузке наблюдается резкое уменьшение интенсивности изнашивания с $1,10^{-7}$ до нулевой отметки, а продолжение износа покрытия частично переносит его на сопряженное контртело из стали ШХ15 и обратно. При повышении давления в контакте износ образца с покрытием практически равен нулю.

Проведенные исследования показывают, что на свойства покрытия существенно влияют технологические режимы его нанесения:

– повышение температуры нанесения покрытия снижает когезионную прочность покрытия меди с 165 до 86 МПа, при этом его адгезионная прочность возрастает с 17 до 49 МПа, а трибологические свойства также имеют тенденцию к росту;

– термическая обработка покрытия медь-цинк в печи при температуре 425°C в течении от 0 до 40 мин снижает, а затем от 60 до 180 мин повышает его когезионную прочность до 95 МПа, при этом меняется фазовый и химический состав покрытия, делая его аналогичным латуни Л65. Износ такого покрытия равен нулю.

Таким образом, полученные результаты показывают перспективность использования покрытий на основе меди, а также меди и цинка, например, при восстановлении изношенных поверхностей трения скольжения, и необходимость исследований взаимодействия с другими материалами для оптимизации области и условий их использования.

Список литературы

1. Димет. Применение технологии и оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimet-r.narod.ru/>.
2. Moskvitin G.V., Pugachev M.S., Polyakov A.N., Naumov O.V. Estimation of the cohesive strength of coatings made of powder materials // Journal of Physics: Conference Series. 2019, vol. 1281, p. 012056.
3. Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Газодинамическое напыление: структура и свойства покрытий. – М.: КРАСАНД, 2017. – 240 с.
4. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Шкалей И.В. Влияние технологических параметров газодинамического напыления на структурно-фазовые превращения в покрытии типа «латуни» // Упрочняющие технология и покрытия. – 2020. – №12. – С. 554-560.

5. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Щербакова О.О. Структурно-фазовые превращения в покрытии на основе частиц меди и цинка, нанесённом газодинамическим напылением // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2020. – №4. – С. 32-36.
6. Архипов В.Е., Куксенова Л.И., Пугачев М.С., Москвитин Г.В. Триботехнические свойства покрытий на основе меди и цинка, нанесенных на сталь методом газодинамического напыления // *Научные труды 6-ой Международной научно-технической конференции "Живучесть и конструкционное материаловедение" (ЖивКоМ–2022).* – М.: Институт компьютерных исследований, 2022. – С. 30-33.

Сведения об авторах:

Архипов Владимир Евгеньевич – к.т.н., в.н.с.;

Москвитин Геннадий Викторович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией;

Пугачев Максим Сергеевич – н.с.