

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

УДК 621.791.927.55

М.Н. ЕРОХИН, С.П. КАЗАНЦЕВ, Н.Н. ЧУПЯТОВ

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ CVD-ПРОЦЕССА НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье отражены результаты экспериментальных исследований процесса получения хромовых и карбидохромовых покрытий CVD-методом металлоорганических соединений. Рассмотрена основная химическая реакция термического разложения гексакарбонила хрома и представлены рекомендации для создания оптимальных условий её реализации. Приведены общий вид и технологическая схема установки для получения покрытий. Подробно рассмотрен вопрос влияния температурного режима процесса на скорость формирования покрытий и микротвёрдость получаемых поверхностей, приведены графические зависимости. Установлено, что максимальная скорость формирования покрытий приходится на температуру 300...350°C, при выходе из этого интервала скорость заметно снижается. Максимальная микротвёрдость наблюдается у покрытий, полученных на подложке, разогретой до 300...310°C. Она находится в пределах 18...19 ГПа, увеличение температуры процесса приводит к резкому снижению значения поверхностной твёрдости. Выполнен анализ влияния температурного режима металлизации на прочность сцепления покрытий с подложкой. Сделан вывод о возможности применения карбидохромовых покрытий, полученных в диапазоне температур 300...350°C для упрочнения рабочих поверхностей деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: хромовые покрытия, CVD-метод, металлизация, гексакарбонил хрома, карбид хрома, карбидохромовые покрытия.

Основные физические и механические свойства получаемых из газовой фазы хромовых покрытий определяются технологическими режимами процесса металлизации. Изменяя эти режимы, можно управлять микротвёрдостью и структурой получаемых покрытий, а также скоростью их формирования, шероховатостью и прочностью сцепления с подложкой.

В работах [1, 2 и др.] определены технологические факторы, регулирующие процесс формирования металлических покрытий CVD-методом металлоорганических соединений (МОС). К основным из них относятся давление в реакторе и температурный режим процесса (температура подложки). Однако в опубликованных работах нет достаточного объёма информации о влиянии каждого из факторов на механические свойства покрытий получаемых термическим разложением гексакарбонила хрома ($\text{Cr}(\text{CO})_6$), что не даёт возможности создать эффективную технологию получения качественных хромированных поверхностей с заранее заданными эксплуатационными свойствами.

Методика исследований

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение влияния указанных выше факторов на механизм формирования и свойства получаемых хромовых покрытий. Нанесение покрытий на образцы осуществлялось с применением установки, созданной в ГНЦ РФ ГНИИХТЭОС г. Москвы. Общий вид и технологическая схема установки представлены на рисунках 1а и 1б.

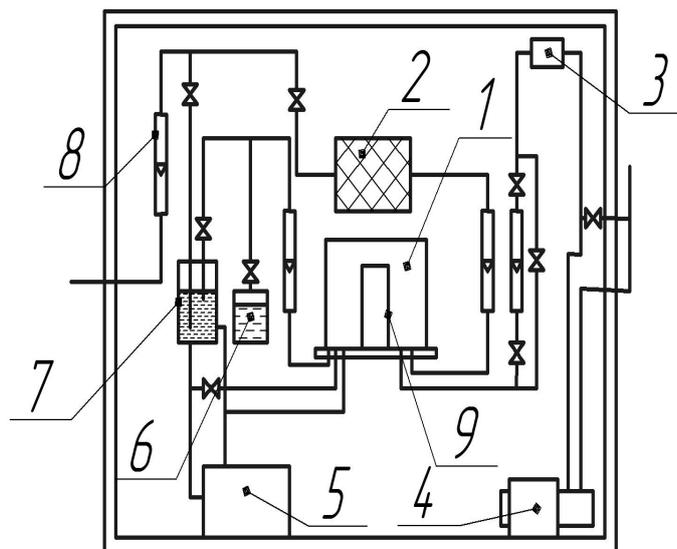
В качестве реагента применялся $\text{Cr}(\text{CO})_6$. Основная реакция процесса разложения МОС выглядит следующим образом:



Для исследования скорости роста покрытий проводили четыре серии опытов, заключающихся в нанесении хрома на образцы, изготовленные из стали 20Х ГОСТ 4543-71 (рис. 2). Металлизацию проводили при различных режимах, изменяя температуру в реакционной камере, интенсивность по-



а



б

Рис. 1. Аппаратурное оформление CVD-процесса: а – общий вид установки; б – схема установки (1 – реактор; 2 – сублиматор; 3 – фильтр; 4 – вакуумный насос; 5 – термостат; 6, 7 – ёмкости с жидким МОС; 8 – расходомер; 9 – внутрикамерный нагреватель)

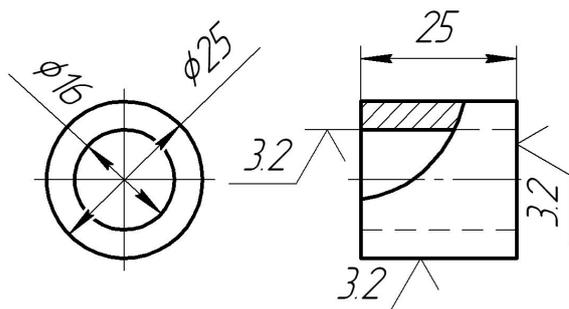


Рис. 2. Образец для определения скорости роста покрытий

дачи реагента (температуру подогрева МОС) и интенсивность откачки (давление в камере).

Результаты исследований

Из экспериментов установлено, что оптимальное значение остаточного давления в камере находится в пределах 10...20 Па. Снижение давления ниже указанного предела нарушает адсорбционно-десорбционный механизм образования металлического слоя и приводит к снижению скорости роста покрытия. Повышение давления препятствует десорбции побочных продуктов реакции (молекул СО) с адсорбционных центров, значительно затрудняя адсорбцию очередных молекул гексакарбонила хрома на поверхность покрытия, что также приводит к снижению скорости роста.

Процесс активного образования хромовых покрытий начинается при нагреве подложки до 300°C, максимальная скорость роста приходится на интервал температур 300...350°C (рис. 3). При снижении температуры процесса ниже 300°C скорость формирования покрытий стремительно снижается, ввиду чего низкотемпературные режимы не представляют интереса для промышленного производства.

Скорость роста покрытий зависит также от концентрации паров исходного МОС в реакционной камере, т.к. определяет соотношение между распадом соединения на поверхности подложки и в объёме камеры. Чрезмерное повышение концентрации паров МОС в газовой фазе приводит к увеличению доли объёмной составляющей реакции терморас-

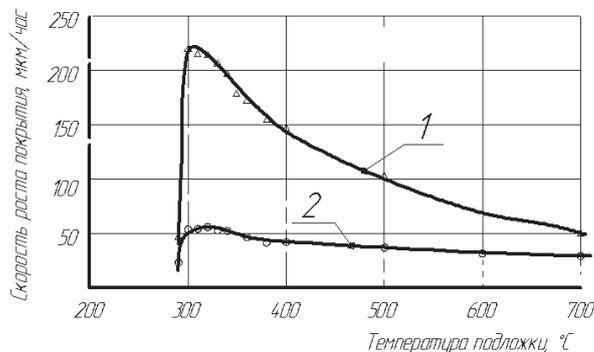


Рис. 3. Влияние температуры подложки на скорость роста карбонильных хромовых покрытий при температуре нагрева МОС:
1 – до 80°C; 2 – до 40°C

пада и интенсивному росту частиц металлического порошка в объеме реактора. Свойства покрытий при этом резко ухудшаются: возрастает пористость, ухудшается структура, снижается прочность сцепления.

Низкая концентрация исходного МОС в объеме реакционной камеры приводит к снижению скорости роста покрытий.

При применении для транспортировки паров МОС несущих газов (оксида углерода, гелия, аргона, азота и др.) происходит снижение скорости роста металлического покрытия вследствие уменьшения объемной концентрации металлоорганического соединения в реакторе. Однако применение несущего газа способствует уравниванию концентрации МОС во всем объеме камеры, что позволяет получить более стабильный результат при получении покрытий на деталях сложной формы.

Максимальная микротвёрдость (в пределах 18...19 ГПа) наблюдается у покрытий, полученных на подложке, разогретой до 300...310°C, повышение температуры приводит к монотонному снижению значения микротвёрдости (рис. 4). При разогреве подложки до 700...800°C микротвёрдость покрытия не превышает 11...13 ГПа. Такое снижение микротвёрдости связано с сокращением содержания связанного углерода в материале покрытия.

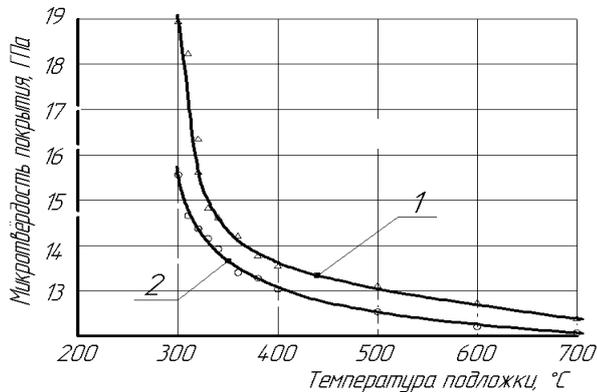


Рис. 4. Влияние температуры подложки на микротвёрдость карбонильных хромовых покрытий при температуре нагрева МОС: 1 – до 80°C; 2 – до 40°C

Максимальная прочность сцепления покрытия с подложкой наблюдается в области низких температур (300...400°C) и составляет 80...120 МПа. С повышением температуры прочность сцепления резко снижается, что связано с разложением МОС в объеме реакционной камеры, приводящем к загрязнению подложки высокодисперсным хромовым порошком.

Ерохин Михаил Никитьевич – д.т.н., академик РАН, профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 55; тел.: +7 (499) 976-26-02.

Выводы

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что оптимальный температурный диапазон для нанесения упрочняющих хромовых покрытий находится в пределах 300...350°C. В указанном температурном интервале можно получать покрытия с высокими значениями поверхностной твёрдости и адгезии к подложке.

Большой практический интерес представляет разработка технологических процессов получения износостойких карбидохромовых покрытий для упрочнения рабочих поверхностей деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники с последующим внедрением разработок в серийное производство.

Библиографический список

1. Козырев В.В. Металлоорганические соединения в машиностроении и ремонтном производстве: Монография. Тверь: Издательство Студия-С, 2003. 160 с.
2. Разуваев Г.А., Грибов Б.Г., Домрачев Г.А. и др. Металлоорганические соединения в электронике. М.: Наука, 1972. 479 с.
3. Ерохин М.Н., Чупятов Н.Н. Повышение износостойкости прецизионных деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 3. С. 7–10.
4. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Чупятов Н.Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин: Монография. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.
5. Мирославов А.В., Сидоренко Г.В., Борисова И.В. и др. // Радиохимия. 1990. Т. 32. № 6. С. 14–21.
6. Сыркин В.Г. Газофазная металлизация через карбонилы. М.: Металлургия, 1985. 248 с.
7. Kravchenko I., Klímenko A., Chupyatov N., Kolomeichenko A. // Trac. and pow. mach. Vol. 19. № 2. Pp. 59–64. Novi Sad, Dec, 2014.
8. Ерохин М.Н. Новое в теории трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 9. С. 50–52.
9. Ерохин М.Н., Чупятов Н.Н., Казанцев С.П. Применение карбонильного хрома для получения упрочняющих покрытий на деталях сельскохозяйственной техники // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК. Минск: БГАТУ, 2014. Ч. 1. С. 275–278.
10. Рабинович И.Б., Нистратов В.П., Тельной В.И., Шейман М.С. Термодинамика металлоорганических соединений. Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1996. 298 с.

Казанцев Сергей Павлович – д.т.н., профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 55; тел.: +7 (499) 976-46-18; e-mail: kspts@bk.ru.

Чупятков Николай Николаевич – к.т.н., докторант РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 172383, Тверская обл., г. Ржев, ул. Краностроителей, д. 19, кв. 38; тел.: 8-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

Статья поступила 6.10.2015

IMPACT OF CVD-PROCESS TECHNOLOGICAL MODES TO CHROMIUM COATING PROPERTIES

M.N. EROKHIN, S.P. KAZANTSEV, N.N. CHUPYATOV

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

The present paper addresses the results of experimental investigations of producing chromium and carbide-chromium coatings by a CVD-method of organometallic compounds. The authors consider the main chemical reaction of chromium hexacarbonyl thermal decomposition and present recommendations for creating optimal conditions for its implementation. The paper presents a general view and a technological scheme of the installation producing the coatings. Particular attention is paid to the influence of the process temperature mode to the rate of coating formation and surface microhardness and a graphical dependence is shown as well. The maximum speed of coating formation is at a temperature of 300...350°C, and it is significantly reduced beyond this interval. The maximum microhardness is observed with coatings obtained on a substrate heated to 300...310°C, and a pressure of 18...19 HP. Increasing the process temperature leads to a sharp decrease of surface hardness. The paper also analyzes the influence of a metallization temperature mode on the strength of the coating-substrate adhesion. On this basis the authors conclude about the possibility of applying carbide-chromium coatings obtained in the temperature range of 300...350°C to harden the operating surfaces of farm machinery hydraulic system parts.

Key words: chrome coatings, CVD-method, coatings, chromium hexacarbonyl, metallization, chromium carbide, carbide-chromium coatings

References

1. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve: Monografiya (Organometallic compounds in mechanical engineering and repair production: Monograph). Tver: Publishing House Studio, 2003. 160 p.
2. Razuvaev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. etc. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike (Organometallic compounds in electronics). M.: Nauka, 1972. 479 p.
3. Erokhin M.N., Chupyatov N.N. Povyshenie iznosostoykosti pretsizionnykh detaley gidravlicheskikh sistem sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Increasing wear-resistance of precision parts of farm machinery hydraulic systems) // Agricultural Machinery and Technologies. 2014. № 3. Pp. 7–10.
4. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya (Methods of modifying surfaces of machinery friction parts. Monograph). Moscow: FSBEI HPE MSAU, 2014. 140 p.
5. Miroslavov A.V., Sidorenko G.V., Borisova I.V. et al. // Radiokhimiya (Radiochemistry). 1990. V. 32. № 6. Pp. 14–21.
6. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily (Gas-phase metallization through carbonyls). M.: Metallurgy, 1985. 248 p.
7. Kravchenko I., Klimenko A., Chupyatov N., Kolomeichenko A. // Trac. and pow. mach. Vol. 19. № 2. Pp. 59–64, Novi Sad, Dec, 2014.
8. Erokhin M.N. Novoe v teorii traktora (New trends in tractor theory) // Tractors and Farm Machinery. 2014. № 9. Pp. 50–52.
9. Erokhin M.N., Chupyatov N.N., Kazantsev S.P. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Using chromium carbonyl to obtain a reinforcing coating on farm machinery parts // Proceeding of International scientific-practical conference «Modern problems of development of new machinery, technologies, organization of technical service in farm industry). Minsk: Belarusian State Agrotechnical University, 2014. Part 1. Pp. 275–278.
10. Rabinovich I.B., Nistratov V.P., Tel'noy V.I., Sheiman, M.S. Termodinamika metalloorganicheskikh soedineniy (Thermodynamics of organometallic compounds). Nizhny Novgorod: Publishing house of Nizhegor. University, 1996. 298 p.

Mikhail N. Erokhin – Member of the Russian Academy of Sciences, PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Rector Advisor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 55; phone: +7 (499) 976-26-02.

Sergey P. Kazantsev – PhD (Eng) – Higher Doctorate Professor, Department of Strength Of Materials and Machinery Parts; Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya ul., 55; phone:+7 (499) 976-46-18; e-mail: kspts@bk.ru.

Nikolay N. Chupyatov – PhD (Eng), post-doctorate researcher, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 172383, Tver obl., Rzhev, Kranostroitelei ul., 19, apt.38; phone: 8-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

Received on October 6, 2015

УДК 621.785: 621.99: 621.282.1:621.793.7-034.35

В.Н. КОПЕНЕВ

Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка

А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО

Орловский государственный аграрный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОСНАСТКИ И МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Успешное решение задач, связанных со снижением стоимости и веса изделий, при одновременном повышении долговечности ведет к необходимости использования композиционных материалов. К числу наиболее прогрессивных технологических процессов получения таких материалов относятся методы нанесения защитных и упрочняющих покрытий. Особое место среди них занимают процессы газотермического напыления. Совершенствование технологических методов, материалов и оснастки при нанесении покрытий методами газопламенного напыления покрытий позволяет управлять ресурсом деталей машин, воздействуя на состав, структуру, свойства. В связи с этим были проанализированы технологические методы, оборудование и материалы при восстановлении и упрочнении деталей машин газопламенным напылением. Приводится расширенное и углубленное рассмотрение проблем повышения эффективности метода газопламенного напыления и пути их решения, а также представлены полученные результаты и дальнейшие направления развития технологических методов, оборудования и применяемых материалов. Анализ существующих материалов и технологий изготовления и восстановления подшипников скольжения позволяет остановить свой выбор на технологии изготовления биметаллического подшипника скольжения взамен подшипника из цельной бронзы. Применение стальной основы и пластического деформирования для её обработки, а также обоснованный подбор антифрикционного материала из порошков бронзы позволяют повысить эксплуатационные показатели разрабатываемого подшипника скольжения. Также установлено, что для формирования равномерного и качественного покрытия на фасонных поверхностях необходимо обеспечить равномерное перемещение горелки, расположенной перпендикулярно поверхности, на заданном расстоянии от детали, поскольку оптимальный режим напыления зависит от многих факторов, в том числе и от таких режимов, как угол и дистанция напыления.

Ключевые слова: газопламенное напыление, технология и оснастка, прочность сцепления, подготовка поверхности, порошковый материал, водородно-кислородное пламя, биметаллический подшипник скольжения, накатывание.