

# ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

УДК 621.791.927.55

**Н.Н. ЧУПЯТОВ**

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

## ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Отражены результаты анализа отказов современных гидравлических агрегатов, а также причин и механизмов разрушения их рабочих сопряжений. Предложен новый способ упрочнения и восстановления прецизионных деталей гидравлических систем с применением карбидосодержащих материалов, синтезированных в CVD-процессе. Представлен анализ наиболее доступных для использования в CVD-процессах металлоорганических соединений (МОС), технологические режимы их разложения и механические свойства карбидов металлов, входящих в исходные соединения. Обоснован выбор в качестве реагента для CVD-процесса гексакарбонила хрома  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ . С помощью сравнительного математического моделирования взаимодействия кварцевых абразивных частиц с поверхностью стали 15Х, цементированной и закалённой до HRC 55...58 и с модифицированной поверхностью, проведена оценка упрочняющих свойств выбранного материала. При этом установлено, что предельные деформации на неупрочнённой поверхности наблюдаются по всей траектории взаимодействия с частицей кварца, в то время как упрочнённая поверхность претерпевает незначительные деформации лишь в месте захода кварцевой частицы на упрочнённую поверхность. Дальнейшее взаимодействие кварцевой частицы с упрочнённой поверхностью носит характер упругого оттеснения. Сделан вывод о целесообразности использования CVD-метода МОС для получения упрочняющих покрытий на деталях гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

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

Карбиды переходных металлов относятся к широкому классу соединений, выделяющихся высокой микротвёрдостью и химической инертностью. Анализ работ, посвящённых изучению физических, химических и эксплуатационных свойств этих соединений, позволяет сделать вывод о целесообразности их использования для повышения работоспособности прецизионных деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

Большое количество работ направлено на исследование методов получения и свойств карбидов, однако их применение в сельскохозяйственном машиностроении ограничено высокой стоимостью реализации разработанных технологических процессов (высокой энергоёмкостью и низкой производительностью).

Анализ источников литературы [1, 2, 3 и др.] указывает на возможность создания энергоэффективной высокопроизводительной технологии получения карбидосодержащих упрочняющих по-

крытий с применением химического парофазного осаждения, однако, опубликованных материалов недостаточно для окончательного выбора материала, создания рабочего процесса и однозначной оценки возможного технико-экономического эффекта.

Целью настоящей работы являются:

– систематизация знаний с целью подбора оптимального для упрочнения деталей гидравлических систем карбидосодержащего материала и способа его получения;

– теоретическая оценка эффективности применения выбранного материала для упрочнения рабочих поверхностей прецизионных деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

### Методика исследований

Выбор упрочняющего материала производился исходя из анализа условий работы узлов гидравлических систем и данных об упрочняющих мате-

риалах полученных в процессе обзора источников литературы [1...7]. Согласно статистике более 30% отказов современных гидравлических агрегатов происходит в результате износа прецизионных пар, выполняющих роль вытеснительных элементов и элементов управления. Большой проблемой является также износ деталей гидроцилиндров. Причиной разрушения данных элементов служат, как правило, абразивное и коррозионно-механическое изнашивание [2...6].

Решение проблемы упрочнения поверхностей трения указанных деталей, с целью максимального снижения воздействия на рабочую поверхность абразивных частиц и агрессивной среды, позволит повысить надёжность и долговечность машин в целом, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду за счёт снижения доли утечек рабочей жидкости.

В работах [2, 4, 5] установлено, что максимальный технический эффект от упрочнения будет получен в том случае, если микротвёрдость модифицированной поверхности будет не менее 17000 МПа. Исходя из сказанного, за основные критерии при выборе упрочняющего материала и технологии его получения на поверхности деталей принимаем:

- доступность технологического процесса и исходных материалов;
- поверхностную твёрдость и химическую инертность получаемого материала;
- экологичность и технологичность процесса модифицирования поверхностей.

Предварительная оценка упрочняющих свойств выбранного материала выполняется с помощью сравнительного математического моделирования взаимодействия кварцевых абразивных частиц с поверхностью стали 15Х, цементированной и закалённой до HRC 55...58 и с модифицированной поверхностью. Для моделирования применялся метод конечных элементов (МКЭ) [8], который наиболее полно реализован в программном пакете

ANSYS. Для иллюстрации возможностей данного подхода использовалась подсистема анализа Explicit Dynamics (явная динамика) на основе программного кода ANSYS AUTODYN-3D в среде Workbench.

### Результаты исследований

На основании анализа способов поверхностного упрочнения [2, 3] в качестве оптимального способа для модифицирования поверхностей трения деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники выбираем CVD-метод металлоорганических соединений (МОС).

Следует отметить, что данный способ позволяет получить широкую гамму функциональных покрытий с заранее заданными механическими свойствами. Основой получаемых материалов являются чистые металлы, карбиды и оксиды, синтезируемые при протекании в реакционной камере широкой гаммы химических превращений. Прогнозирование и управление свойствами получаемых материалов возможны за счёт глубокого термодинамического анализа процесса с последующей катализацией или подавлением определённых химических реакций.

Наиболее доступные для использования в CVD-процессах МОС технологические режимы их разложения и механические свойства карбидов металлов, входящих в исходные соединения, представлены в таблице 1 [1, 3, 8...13].

Согласно указанным выше критериям выбираем в качестве упрочняющего материала карбид хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Данный материал может быть получен термическим разложением гексакарбонила хрома в CVD-процессе. Он выделяется высокой (более 17 ГПа) микротвёрдостью и технологичностью, которая обусловлена низкой (от 300°C) температурой металлизации.

Для предварительной оценки упрочняющих свойств карбидохромового покрытия выполнялось

Таблица 1

**Наиболее доступные для использования в CVD-процессах МОС технологические режимы их разложения и механические свойства карбидов металлов, входящих в исходные соединения**

Группа ПСХЭ	Основной материал покрытия	Исходное летучее соединение	Температура нагрева, °С		Теоретическая микротвёрдость карбидов для основного металла соединения, МПа
			исходного соединения	подложки	
VI	Cr	Cr(CO) <sub>6</sub>	30...50	300...700	До 20,6 ГПа
	Mo	Mo(CO) <sub>6</sub>	30...60	450...700	До 19,3 ГПа
	W	W(CO) <sub>6</sub>	40...70	450...700	До 22 ГПа
VIII	Fe	Fe(CO) <sub>5</sub>	20...30	100...300	До 5,8 ГПа (карбонильное)
	Co	Co <sub>2</sub> (CO) <sub>8</sub>	20...25	180...220	До 8 ГПа (карбонильный)
	Ni	Ni(CO) <sub>4</sub>	20...30	100...300	До 9 ГПа (карбонильный)

математическое моделирование процесса взаимодействия кварцевой частицы (рис. 1б – тело 1) с модифицированной (рис. 1а – тело 3) и немодифицированной (рис. 1б – тело 2) поверхностями деталей. Расчётная схема представлена на рисунке 1а. Согласно этой схеме тело 1 (ширина 40 мкм) перемещалось в зазоре (20 мкм) между телами 2 и 3.

Количественная оценка разрушений производилась по расчётным значениям предельных относительных деформаций для каждого из микрообъёмов рассматриваемого материала (рис. 2б).

### Результат моделирования

Предельные деформации на поверхности детали 2, изготовленной из стали 15X с цементацией и закалкой до HRC 55...58, наблюдаются

по всей траектории взаимодействия с телом 1, в то время как поверхность тела 3 претерпела незначительные деформации лишь в месте захода кварцевой частицы в зазор. Дальнейшее взаимодействие кварцевой частицы 1 с поверхностью тела 3 носит характер упругого отсечения. Графики относительных деформаций для поверхностей деталей 2 и 3 представлены на рисунке 1б.

Такие результаты дают возможность предположить способность поверхности, модифицированной карбидохромовым покрытием, сопротивляться воздействию абразивных кварцевых частиц и свидетельствуют о возможности получения высокого технического эффекта от подобного упрочнения.

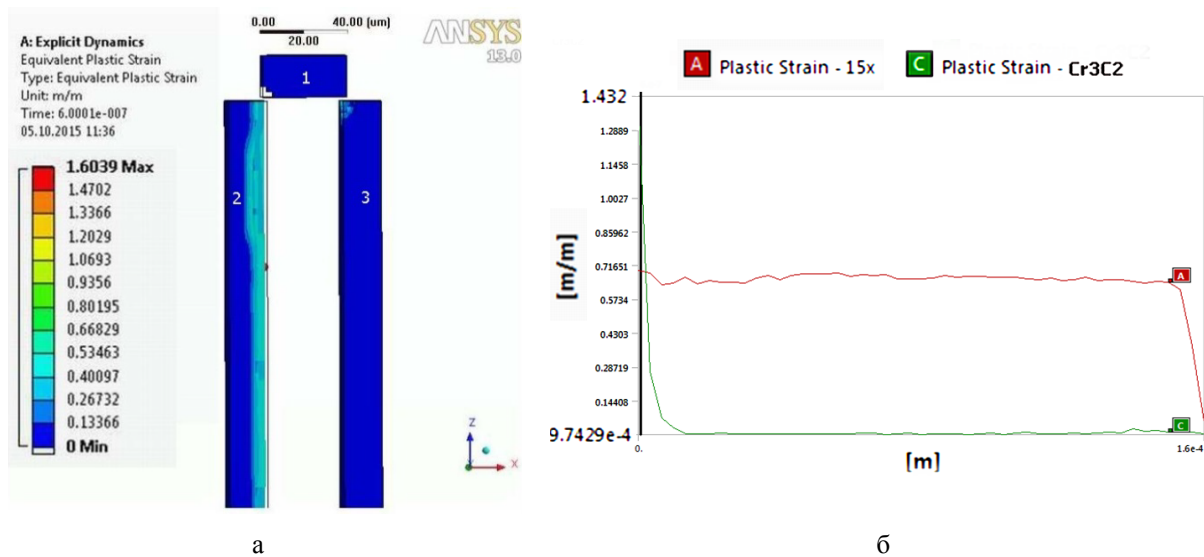


Рис. 1. Результаты математического моделирования процесса взаимодействия кварцевой частицы (1) с поверхностью детали (2), изготовленной из стали 15X, цементированной и закалённой до HRC 55...58, и поверхностью детали (3), упрочнённой карбидохромовым покрытием

### Выводы

Исходя из сказанного выше, можно сделать следующие выводы.

– Для получения на деталях сельскохозяйственной техники упрочняющих карбидосодержащих покрытий с заранее заданными механическими свойствами целесообразно использовать метод химического парофазного разложения  $Cr(CO)_6$ .

– Низкая температура процесса термического разложения  $Cr(CO)_6$  (300...700°C) свидетельствует о незначительных энергозатратах при реализации технологического процесса, что позволит сократить себестоимость поверхностного упрочнения по отношению к классическим способам термической и химикотермической обработки.

– Большой практический интерес представляет работа в области изучения свойств карбидо-

хромовых покрытий, полученных термическим разложением  $Cr(CO)_6$ , с целью получения данных об их адгезии к подложке, и о триботехнических свойствах, и создания новых технологических процессов поверхностного упрочнения с последующим внедрением в промышленное производство.

### Библиографический список

1. Косолапова Т.Я. Карбиды. М.: Металлургия, 1968. 300 с.
2. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Чупятов Н.Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин: Монография. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.
3. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическая парофазная металлизация. М.: Наука, 2000. 496 с.

4. Ерохин М.Н. Инженерные методы оценки и контроля надежности сельскохозяйственной техники / М.Н. Ерохин, Р.С. Судаков. М.: Изд-во МСХА, 1991. 68 с.
5. Хрущёв М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
6. Алдошин Н.В. Контроль качества изделий вышедшей из эксплуатации техники // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 4. С. 30–33.
7. Ерохин М.Н. Новое в теории трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 9. С. 50–52.
8. Anderson T.L. Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 1994.
9. Козырев В.В. Металлоорганические соединения в машиностроении и ремонтном производстве: Монография. Тверь: Издательство Студия-С, 2003. 160 с.
10. Сыркин В.Г. Газофазная металлизация через карбонилы. М.: Металлургия, 1985. 248 с.
11. Разуваев Г.А., Грибов Б.Г., Домрачев Г.А. и др. Металлоорганические соединения в электронике. М.: Наука, 1972. 479 с.
12. Грибов Б.Г., Домрачев Г.А., Жук Б.В. и др. Осаждение плёнок и покрытий разложением металлоорганических соединений. М.: Наука, 1982. 322 с.
13. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Чупятов Н.Н. 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.

*Чупятов 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 28.12.2015*

## APPLICATION OF CARBIDE-CONTAINING MATERIALS OBTAINED FROM GAS PHASE TO HARDEN FARM MACHINERY PARTS

*N.N. CHUPYATOV*

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

The paper presents failure analysis results concerning today's hydraulic power units, as well as the causes and destruction schemes of their working mates. The author suggests a new method of hardening and restoration of precision parts of hydraulic systems using carbide-containing materials synthesized in a CVD-process. The paper features an analysis of organometallic compounds (MOC) that are the most accessible for use in CVD processes, technological modes of their degradation and mechanical properties of metal carbides included in original compounds. The paper proves the choice of a reagent for the CVD-process, namely, chromium hexacarbonyl. Using comparative mathematical modeling of the interaction between silica abrasive particles and the surface of steel 15X hardened and tempered to HRC 55...58 and the modified surface, the author has evaluated reinforcing properties of the chosen material. It has been found that the ultimate strain on the non-hardened surface have been observed on the entire trajectory of interaction with the silica particles, while the hardened surface has undergone a slight deformation only at the spot of quartz particle contacting with the hardened surface. Further interaction of the quartz particle with the surface features reinforced elastic edging. It has been concluded that the feasibility of using the MOC-CVD method for making strengthening coatings on farm machinery hydraulic system parts.

*Key words:* chrome coating, CVD-method, metal plating, chromium hexacarbonyl, chromium carbide, chromium carbide coatings.

### References

1. Kosolapova T.Ya. Karbidy [Carbides]. М.: Metallurgiya [Metallurgy], 1968. 300 p.
2. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya [Methods of modifying the friction surfaces of machine parts: Monograph]. М.: FGBOU VPO MGAU, 2014. 140 p.
3. Syrkin V.G. CVD-metod. Khimicheskaya paro-faznaya metallizatsiya [CVD-method. Chemical vapor metallization]. М.: Nauka [Science], 2000. 496 p.
4. Erokhin M.N. Inzhenernye metody otsenki i kontrolya nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Engineering methods for assessing and monitoring the reliability of agricultural machinery] / M.N. Erokhin, P.S. Sudakov. М.: Publishing House MSKhA, 1991. 68 p.

5. Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrasive wear [Abrasive wear]. M.: Nauka [Science], 1970. 252 p.
6. Aldoshin N.V. Kontrol' kachestva izdeliy vybyvshey iz ekspluatatsii tekhniki [Quality control of the withdrawn equipment parts] // Tekhnika v sel'skom khozyaystve [Farm Machinery]. 2010. № 4. P. 30–33.
7. Erokhin M.N. Novoe v teorii traktora [New issues in the tractor theory] // Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and Farm Machinery]. 2014. № 9. P. 50–52.
8. Anderson T.L. Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 1994.
9. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve: Monografiya [Organometallic compounds in engineering and repair production: Monograph]. Tver': Publishing House Studiya-S, 2003. 160 p.
10. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily [Gas-phase metallization through carbonyls]. M.: Metallurgiya [Metallurgy], 1985. 248 p.
11. Razuvaev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. i dr. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike [Organometallic compounds in electronics]. M.: Nauka [Science], 1972. 479 p.
12. Gribov B.G., Domrachev G.A., Zhuk B.V. i dr. Osazhdenie plenok i pokrytiy razlozheniem metalloorganicheskikh soedineniy [Deposition of films and coatings with decomposition of organometallic compounds]. M.: Nauka [Science], 1982. 322 p.
13. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The use of carbonyl chromium for making hardening coatings of farm machinery parts] // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennyye problemy osvoeniya novoy tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK” [Proceedings of the International scientific-practical conference “Modern problems of the development of new techniques, technologies, and organization of technical service in agriculture”]. Minsk: BGATU, 2014. Ch. 1. P. 275–278.

*Nikolai N. Chupyatov* – PhD (Eng), a post-doctorate researcher, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 172383, Tver region, Rzhev, Kranostroiteley ul, 19, apt. 38; phone: + 7-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

*Received on December 28, 2015*

УДК 621(075.8)

**А.Е. ПАВЛОВ, С.В. СОРОКИН, Л.А. ПАВЛОВА**

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

## **ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО УКЛАДЧИКА ШТУЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

Роботизированные устройства в агропромышленном комплексе значительно облегчают выполнение однотипных операций, зачастую производимых вручную. Для совершенствования механизмов требуется проведение теоретических расчётов. В настоящей работе с помощью методов теоретической механики найдены законы движения двух ведущих звеньев, обеспечивающих безостановочное транспортирование захватного устройства по криволинейной траектории. Определены функции перемещений и скоростей ведущих звеньев, позволяющие исключить ручное программирование методом обучения. Предложен математический метод задания координат этих звеньев во время рабочего и холостого ходов. Кроме того, полученные траектории схвата гарантируют надёжную многослойную укладку. Данная модель надёжной многослойной укладки штучных продуктов в тару с высокими стенками позволяет существенно упростить действующие укладчики, исключив из их конструкции механизм периодического опускания стола, на котором установлена тара.

*Ключевые слова:* укладчик, вакуумный схват, кинематика звеньев.