

PHYSICO-MECHANICAL AND OPERATING PROPERTIES AND INDICATORS OF RESTORATION COATINGS⁶

Prof. Plamen Kangalov, PhD

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 82 888 457

E-mail: kangalov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Mitko Nikolov, DSc

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 82 888 458

E-mail: mnikolov@uni-ruse.bg

Eng. Jordan Valchev, PhD stud.

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies,

“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

***Abstract:** In this article the main physico-mechanical and operational properties and indicators of the restorative coatings obtained with the most common methods in maintenance practice were analyzed. When choosing a method for restoration of machine parts, it is essential to regard the different properties, indicators and characteristics of the coatings obtained by different methods among which are types of surfacing and welding, gas-thermal, electrolytic, electro-physical methods.*

***Keywords:** restorative coatings, coating properties, restoration of details*

ВЪВЕДЕНИЕ

Болшинството детайли от съвременната техника имат неголеми размери 20-50 mm и износвания 0,1-1,0 mm, работят при високи натоварвания, изменящи се във времето по величина и характер на въздействие (Electroplated coatings in mechanical engineering 1985; Nikolov M., P. Kangalov 2012; Nikolov M., I. Todorov, V. Stoyanov, J. Valchev 2019; Nikolov, M., V. Stoyanov 2014). Днес практически е възможно отстраняването на всякакви дефекти, с малки изключения, като възстановяването на износените детайли на машините и съоръженията е едно от най-важните направления за икономията на резервни части, суровини, материали и енергия.

В ремонтната практика съществува широка номенклатура от методи за възстановяване на износени детайли които постоянно се развиват и увеличават. За избирането на рационален метод за възстановяване, е необходимо добро познаване на възможностите на всеки един от тях, техните предимства и недостатъци. За подбирането на метод, могат да служат различни свойства, показатели и характеристики, които могат да бъдат разделени на физико-механични, експлоатационни, технико-икономически и производствено-технологични.

Целта на настоящата работа е да се направи кратък (обобщен) анализ на физико-механичните и експлоатационните свойства и показатели на възстановителните покрития,

⁶ Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Ремонт и надежност“ на 13 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ И ЕКСПЛОАТАЦИОННИ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НА ВЪЗСТАНОВИТЕЛНИТЕ ПОКРИТИЯ

получени с най-широко разпространените методи в ремонтната практика. Както и сравнението на особеностите им спрямо тези от машиностроителното производство.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Към материалите използвани в машиностроенето, често пъти се предявяват високи изисквания. Избраният материал (който отговаря на якостните изисквания), често пъти няма необходимите повърхностни качества, като микротвърдост, износоустойчивост, корозионна устойчивост, нисък коефициент на триене, възможност за запояване и други свойства. За получаването на необходимите качества в машиностроенето намират все по-широко приложение различни методи за подобряване физико-механичните и трибологически свойства на работните повърхности на детайлите (закаляване, химико-термична обработка, нанасяне на електролитни покрития, наваръчни покрития, йонно-плазмена обработка, лазерна обработка, повърхностна пластична деформация и др.).

Качеството и ефективността на ремонта зависят до голяма степен от избора на рационален метод за възстановяване, като в същия момент не е възможно прилагането на всички технологии приложими в машиностроенето. Те трябва да отговарят по адекватен начин и на специфичните изисквания на ремонтната практика. Като например, да не се влошава структурата и физико-механичните качества на възстановяваният детайл, възстановителният процес да е евтин, да не изисква висока квалификация на обслужващия персонал, да е подходящ за единично и дребно серийно производство и др.

Практиката за възстановяване на износени детайли днес разполага с широка номенклатура от методи и технологии за нанасяне на възстановителни покрития - различни видове наваряване и заваряване, газотермични, електролитни, електрофизични, пластмасови и други покрития.

За трайността на възстановените детайли голямо значение има изходната структура и физико-механическите свойства на повърхностните слоеве. Един от главните фактори, от които съществено зависи големината и скоростта на износването, е твърдостта на възстановените повърхности.

Твърдостта на възстановителните метални покрития табл. 1 (Electroplated coatings in mechanical engineering 1985; Kangalov P. 2019; Nikolov M., P. Kangalov 2012; Nikolov, M., V. Stoyanov 2014; Nikolov, M. 2009), зависи както от физико-механичните свойства на метала, който се напластява (нанася), така и от методите и режимите за нанасяне.

Таблица 1. Физико-механични свойства и показатели на възстановителните металопокрития

№	Видове металопокрития	Свойства и показатели			
		Твърдост HV	Микротвърдост Нц, МПа	Грапавост Rz, μm	Коефициент на триене
	1. Електродъгови				
1.1	под флюс	200-850	4000-6000	6,3	0,065
1.2	във CO ₂	250-800	3000-5000	6,3	-
1.3	плазмени	300-1100	3500-7500	1,6	0,12
	2. Вибродъгови				
2.1	в смеси Ar+CO ₂	250-800	3000-6000	6,3	0,055
2.2	в течност	460-1100	3000-7500	6,3	0,055
	3. Газотермични				
3.1	ел. дъгови	250-400	4500-6700	3,2	0,06
3.2	газопламъчни	200-450	4000-6000	3,2	0,017-0,04
	4. Електролитни				
4.1	хромиране	450-850	8000-13000	0,5-1,5	0,02
4.2	пожелезяване	150-500	3000-7500	0,5-3,5	0,065
4.3	никелиране	150-500	3000-7500	0,5-2,5	-

При наваряване твърдостта се влияе от размесването на наварения метал с основния във заваръчната вана. Размесването на метала при вибродъговото наваряване е по-малко от което следва и по-малко влияние на основния метал върху твърдостта на покритието. За този метод на наваряване е характерна петниста твърдост поради закаляване от охлаждащата вода и различната структура. Различно е състоянието в случаите на нанасяне на газотермични и електролитни покрития. При тях твърдостта зависи изключително от свойствата на покритията, тъй като няма металургична връзка между детайла и покритието. Най-висока твърдост имат плазмените и електролитните хромовите покрития.

Микротвърдостта е в корелация с твърдостта, но се променя в широки граници в зависимост от условията на напластяване. За газотермичните покрития измерената микротвърдост е значително по-висока от твърдостта в покритията. Това се обяснява със структурата на покритията, при които индентора прониква по дълбоко, а когато се измерва микротвърдост се отчита твърдостта в отделна закалена метална частица. Тези покрития трудно се обработват механически, което се обяснява тяхната висока микротвърдост.

Механическата обработка на посочените покрития табл. 1 (Nikolov, M., V. Stoyanov 2014; Todorov, E., M. Nikolov, G. Tonchev, P. Kangalov 2002; Todorov, I. 2013) е направена при еднакви режими на рязане, получават се повърхнини с различна грапавост (Rz), което се обяснява с различната структура в нанесените покрития. Най-малка грапавост се получава в електролитните покрития, което се обяснява с тяхната хомогенност, докато наваръчните покрития обикновено имат хетерогенен състав с различна твърдост на различните фази.

Друг важен показател който характеризира възстановителните покрития това е коефициента на триене при плъзгане, от който в значителна степен зависи безотказността и трайността на възстановените детайли. От посочените в литературата данни в табл. 1 (Kangalov P. 2019; Nikolov, M., P. Kangalov, S. Kerekov, N. Gospodinova 2016; Stoikov S. 1982; Todorov I. 2019) се вижда, коефициента на триене при различните видове покрития се колебае в границите 0,02-0,12, като при газотермичните и електролитните покрития той е по-нисък.

Износоустойчивостта на покритията получени чрез различните методи табл. 2 (Nikolov M., P. Kangalov 2012; Nikolov, M., P. Kangalov, S. Kerekov, N. Gospodinova 2016; Todorov, E., M. Nikolov, G. Tonchev, P. Kangalov 2002) е съпоставима. Най-малко износване имат хромовите покрития. Това се потвърждава и от други автори а също и от практиката (много силно натоварени детайли се хромират: бутални пръстени, втулки и др.).

Таблица 2. Експлоатационни свойства и показатели на възстановителните покрития

№	Видове металопокрития	Свойства и показатели			
		Износоустойчивост mg/h	Корозионна устойчивост	Якост на сцепление MPa	Коефициент на намаляване уморната якост
	1. Електродъгови				
1.1	под флюс	2,6	добра	650-730	0,75-0,80
1.2	във CO ₂	1,4	средна	500-600	0,80-0,85
1.3	плазмени	2,1	добра	450-520	0,83-0,88
	2. Вибродъгови				
2.1	в смеси Ag+CO ₂	1,4	средна	500-600	0,80-0,85
2.2	в течност	1,4	средна	480-590	0,60-0,80
	3. Газотермични				
3.1	ел. Дъгови	6,3	добра	22-25	0,72-0,75
3.2	газопламъчни	6,3	добра	24-27	0,70-0,93
	4. Електролитни				
4.1	хромиране	1,0	много добра	350-450	0,75-0,80
4.2	пожелезяване	2,2	лоша	250-450	0,71-0,75
4.3	никелиране	1,5	средна	300-450	-

Корозионната устойчивост табл. 2 (Kangalov, P. 2019; Nikolov, M., P. Kangalov 2012; Nikolov, M. 2019; Nikolov, M., V. Stoyanov 2014; Nikolov M. 2009) е един от показателите определящи трайността на металните покрития. При повечето възстановителни покрития тя е по-добра, в сравнение с материала на основния метал. Най-добра корозионна устойчивост от изследваните покрития имат хромовите покрития, които освен за повишаване на износоустойчивостта на възстановените детайли, се използват и като антикорозионни защитно декоративни покрития. Пожелезяването въпреки добрата си износоустойчивост се отличават с лоша корозионна устойчивост.

Якостта на сцепление табл. 2 (Nikolov, M., V. Stoyanov 2014; Todorov, I. 2013; Stoyanov V., D. Bekana, T. Delikostov 2001) се посочва като съществено експлоатационно свойство което определя безотказността и трайността на възстановените детайли. За почти всички наварени покрития якостта на сцепление има високи стойности и трудно ще се получи нарушение на сцеплението. Най-ниска якост на сцепление имат газотермичните покрития (23 МПа). При неправилно подбрани режими на напластяване или некачествена предварителна обработка се получава нарушение на сцеплението и при електролитните покрития.

Всички възстановителни покрития намаляват границата на умора на детайлите, върху който са нанесени. Коефициентът в табл. 2 (Nikolov M. 2019; Stoikov S. 1982; Todorov I. 2019; Delikostov T. 2020) показва каква е уморната якост на стоманен детайл възстановен със съответното покритие сравнени с образец от Ст45. При газотермичните покрития има случаи, когато границата на умора става по-висока, от номиналната (Nikolov M. 2009; Nikolov, M., P. Kangalov, S. Kerekov, N. Gospodinova 2016; Kangalov P, M. Nikolov, T. Delikostov, M. Stojanov 2015; Delikostov T. 2020; Bekana D. 2020) след напластяването. Порестостта в газотермичните покрития влияе върху коефициента на триене, а той влияе върху уморната якост на материала.

Въпреки големият брой възстановителни методи, не винаги може да се достигнат съвременните високи изисквания към физико-механичните свойства на повърхностните слоеве и това налага да бъдат прилагани и някои от методите използвани при производството на нови детайли или да бъдат комбинирани няколко метода за напластяване за достигане на необходимите свойства на възстановяваната повърхнина (например комбиниране на наваръчни и електролитни покрития). Оказва се, че покритие с един слой не винаги е достатъчен, налага се допълнително усъвършенстване и оптимизиране на методите за покриване на нарастващите различни изисквания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определени и класифицирани, са физико-механичните и експлоатационните свойства и показатели на най-често използваните в ремонтната практика възстановителни покрития използвани за възстановяване на над 80% от детайлите на земеделската и автотракторна техника.

2. Физико-механичните свойства и показатели на метални покрития, не винаги удовлетворяват съвременните изисквания за осигуряването на ресурс на възстановените детайли който е равен или по-висок от новите детайли.

3. Усъвършенстването на методите за нанасяне на възстановителни метални покрития ще бъде насочено към създаването на покрития от няколко слоя, които имат различни физико-механични свойства и осигурят заедно добро сработване, значителна износоустойчивост, противозадирни свойства и др.

REFERENCES

Bekana D. (2020) Optimizing the maintenance of agro-industrial equipment, Academic Publishing House University of Ruse p. 150, ISBN 978-954-712-800-2, (*Оригинално заглавие: Бекана Д. (2020) Оптимизиране поддържането на аграрно-индустриалната техника, Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 150, ISBN 978-954-712-800-2*).

Delikostov T., (2020) Management of fuel combustion of internal combustion engines from agricultural and tractor equipment by maintaining the food system. Scientific Monograph. Ruse,

Academic Publishing House University of Ruse, p.136, ISBN 978-954-712-799-9. (**Оригинално заглавие:** Деликостов Т. (2020) Управление разгода на гориво на ДВГ от земеделската и автотракторна техника чрез поддържане на хранителната система – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, р.136, ISBN 978-954-712-799-9).

Electroplated coatings in mechanical engineering. (1985) Moscow, Mechanical engineering, т.1, т.2. (**Оригинално заглавие:** (1985) Гальванические покрытия в машиностроении, Справочник, Москва: Машиностроение, т.1, т.2).

Kangalov P, M. Nikolov, T. Delikostov, M. Stojanov. (2015) Investigation of the antiwear properties of titanium tetraoleate as a friction modifier. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol 54, s 1,1, pp. 164-167, ISSN 1311-3321, (**Оригинално заглавие:** Кангалов. П, М. Николов, Т. Деликостов, М. Стоянов. (2015) Изследване на противоизносните свойства на титанов тетраолеат като модификатор на триенето. В: Научни трудове на Русенски Университет, брой 54, с. 1,1, с. 164-167, ISSN 1311-3321).

Kangalov P. (2019) Rebuilding electrolytic alloys coatings. Scientific Monograph. Academic Publishing House University of Ruse, p. 170, ISBN 978-954-712-785-2 (**Оригинално заглавие:** Кангалов П. (2019) Възстановителни покрития от електролитни сплави – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 170, ISBN 978-954-712-785-2).

Nikolov M. (2009) Multifactor study of the formation of restorative coatings in gas mixtures. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol. 48, s. 1.1, Ruse, pp. 132-136, ISBN 1311 3321, (**Оригинално заглавие:** Николов М., (2009) Многофакторно изследване формирането на възстановителни покрития в газови смеси., В: Научни трудове на РУ "Ангел Кънчев", том 48, серия 1.1, Русе, стр. 132-136, ISBN 1311 3321).

Nikolov M., I. Todorov, V. Stoyanov, J. Valchev. (2019) Determination of the Structural Characteristics of the Parts of Agricultural Machinery Subject for Repair. В: PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE – 2019, No v 58, b 1.1, pp. 44-48, ISSN 1311-3321.

Nikolov M., P. Kangalov. (2012) Benefits from maintenance and repair in utilization of resources. IN: Mendeltech International 2012 – International Scientific Conference, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.

Nikolov M, (2019) Rebuilding Overlaid Coatings Obtained Through Vibrating Arc Overlaying Process in an Atmosphere of Shielding Gas and its Mixtures - Scientific Monograph, Academic Publishing House University of Ruse, p. 144. ISBN 978-954-712-756-2 (**Оригинално заглавие:** Николов М. (2019), Възстановителни вибрационни покрития в защитни газове и техните смеси - научна монография, Русе: Академично издателство „Русенски университет, р. 144, ISBN 978-954-712-756-2).

Nikolov, M., P. Kangalov, S. Kerekov, N. (2016) Gospodinova. Investigation of the tribological characteristics of complex ester of adipic acid as a friction modifier for engine oils on SMC-2 tribotester.// Journal of the Balkan Tribological Association, No 22, 3A-II, pp. 3412-3419, ISSN 1310-4772.

Nikolov, M., Stoyanov, V., (2014) Utilization of Resources in the Maintenance and Repair of Machines, Ruse, Ruse University Publishing Centre, p. 95, ISBN 978-954-712-607-7, (**Оригинално заглавие:** Николов М., Стоянов В. (2014) Оползотворяване на ресурсите при поддържането и ремонта на машините, Русе, Издателски център при Русенски университет, стр. 95, ISBN 978-954-712-607-7).

Stoikov S. (1982) Some organizational-economic and technological issues of the rebuilding of details. Sb. Rebuilding of details, Kardzhali, pp. 12-18, (**Оригинално заглавие:** Стойков С. (1982) Някои организационно-икономически и технологически въпроси на възстановяването на детайли. Сб. Възстановяване на детайли, Кърджали, стр. 12-18).

Stoyanov V., D. Bekana, T. Delikostov, (2001) Repair as a form of recycling. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol 38, s Mechanization, agricultural machinery and technologies, Ruse, pp. 93-96, ISSN 1311-3321, (**Оригинално заглавие:** Стоянов В., Д. Бекана, Т. Деликостов,

(2001) *Ремонта като форма за рециклиране*, В: *Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев“*, том 38, серия „Механизация, земеделска техника и технологии“, Русе, с.93-96, ISSN 1311-3321).

Todorov I. (2019) A Research about Wear Process of Details from Belt Conveyor.// *Agricultural, forest and transport machinery and technologies*, Vol. VI, pp. 5-10, ISSN 2367-5888.

Todorov, E., Nikolov M., Tonchev G., Kangelov P. (2002) The influence of the composition of the gas mixture on the electrical parameters of vibrating electrode arc welding of steels and cast irons parts from the sphere of automobile and tractor and agricul. IN: *Autovehiculul, mediul simasina agricola AMMA 2002*, Cluj-Napoca, pp. 27-32, ISBN 973 8335 60 4.

Todorov, I. (2013) Influence of the amplitude of vibrations on the technological parameters of the mode during vibroarc surfacing of details from the tractor and agricultural machinery. В: *Scientific works of Angel Kanchev University*, Vol 52, s 1.1, Ruse, pp. 293-296, ISSN 1311 3321, **(Оригинално заглавие: Тодоров И., (2013) Влияние на амплитудата на вибрации върху технологическите параметри на режима при вибродъгово наваряване на детайли от автотракторната и земеделска техника. В: Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев“ том 52, с. 1,1, Русе, с. 293-296, ISSN 1311 3321).**