

Списък на научните трудове с резюмета на български и английски език

на

гл. ас. д-р Василий Атанасов Читанов

I. Статии показател В, група 4 Хабилитационен труд – научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus).

B_1.

V. Chitanov, St. Kolchev, T. Cholakova, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, Ch. Pashinski, N. Hristeva, “**Low temperature quaternary hard coatings with Cr- to Ti-based transition composition**”, *Journal of Physics: Conference Series*, Open Access, Volume 2240, Issue 1, 4 April 2022, Article number 0120142, 2nd International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies, VEIT 2021, Sozopol, Publisher: Institute of Physics Publishing, ISSN:1742-6588, pp1-6, **2022**, DOI10.1088/1742-6596/2240/1/012014, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2240/1/012014>.

Индексира се в Scopus SJR 0.21, точки 10.

Abstract: A new quaternary hard coating based on Cr/CrN adhesion layers and a TiCrAlN main coating layer was developed for low-temperature applications. It was deposited in a closed-field unbalanced magnetron sputtering equipment. The nanohardness, adhesion and thickness of the coating were characterized by Anton Paar's nano-indenter tester, scratch tester and calotester. The chemical composition and surface morphology were investigated by a Hitachi SU 5000 scanning electron microscope equipped with an energy dispersion analyzer. The coating showed a low coefficient of friction and a good adhesion strength between the substrate and the Cr/CrN transition layer, as well as between the transition layer and the TiCrAlN layer. The nanohardness achieved was 33 GPa. The research results showed that the quaternary Cr/CrN/TiCrAlN hard coating deposited at 200 °C has mechanical properties comparable to coatings with a similar composition deposited at standard deposition temperatures.

Резюме: Ново четворно твърдо покритие базирано на Cr/CrN адхезионен слой и TiCrAlN основен слой е разработено за нискотемпературни приложения. То се нанася чрез оборудване за Разбалансирано магнетронно разпрашване в затворено магнитно поле. Нанотвърдостта, адхезията и дебелината на покритието са характеризирани с оборудване на Антон Паар за наноиндентиране, тест на надраскване и калотестер. Химичният състав и повърхностната морфология са изследвани със сканиращ електронен микроскоп

Хиташи Су 5000 оборудван с енергийно дисперсионен анализатор. Покритието показва нисък коефициент на триене и добра адхезия между подложката и преходния Cr/CrN слой, както и между преходния слой и основния TiCrAlN слой. Постигнатата нанотвърдост е 33 GPa. Изследователските резултати показват, че четворното Cr/CrN/TiCrAlN твърдо покритие нанесено при температура до 200 °C има механични свойства сравними с покритията с подобен състав нанесени при стандартни температури.

B_2.

V. Chitanov, M. Krieger, P. Heinzlreiter, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, A pilot applied physics grid computing infrastructure for developing applications predicting the qualities of industrial coatings, *Journal of Grid Computing*, Vol. 19, Issue 3, Published: 01 July 2021, Article number 26, Springer Science and Business Media B.V., Springer Nature, ISSN 1570-7873, DOI 10.1007/s10723-021-09566-y, Access Num. WOS:000668890600001, 2021, <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10723-021-09566-y>

Индексира се в Scopus, WoS SJR 0.611, IF: 3.986, Q1, точки 25

Abstract: A pilot Grid computing test infrastructure is creating between Central Laboratory of Applied Physics (CLAP) part of Bulgarian Academy of Sciences and Risc Software GmbH subsidiary research company of Johannes Kepler University. Austrian research organizations. The infrastructure is used from the specialists in applied physics for education in the application of Grid technologies. A concrete application for the prediction of the qualities of industrial coatings researched in CLAP is developed. The SKlearn python library including six predicting models is implemented. The nanohardness of different coatings is predicted and compared with data from real measurements for validation of the modeling results. The results shown that between all methods Gaussian Process Regressor (GPR) is given the nearest predictions in most of the research coatings.

Резюме: Пилотна изчислителна ГРИД тестова инфраструктура е създадена между Централна Лаборатория по Приложна Физика (ЦЛПФ), част от Българската Академия на Науките и РИСК Софтуер ГмбХ дъщерна изследователска компания към университета Йоханес Кеплер, австрийска изследователска организация. Инфраструктурата се използва от специалистите по приложна физика за обучението им в приложението на ГРИД технологии. Разработено е конкретно приложение за предсказване на качествата на индустриални покрития изследвани в ЦЛПФ. Внедрена е Питон библиотека SKLearn включваща шест предсказващи модела. Нанотвърдостта на различни покрития е предсказана и сравнена с данни от реални измервания за валидиране на резултатите от моделирането. Резултатите показват, че между всички методи Гаусовия процесен регресор (Gaussian Process Regressor GPR) дава най-близките предсказания при повечето изследвани покрития.

B_3.

V. Chitanov, L. Kolaklieva, T. Cholakova, R. Sharif, G. Hesser, A. Hinterreiter, R. Kakanakov, K. Hingerl, “**Ellipsometric characterisation of CrTiAlN coating deposited at low temperatures with Unbalanced magnetron sputtering**”, *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, Institute of Physics Publishing, Volume 1492, Issue 1, 2 June 2020, Article number 012035, ISSN:1742-6588, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1492/1/012035>, , 21st International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies, VEIT 2019; Black Sea Resort Sozopol; Bulgaria; 23 September 2019, **2020**.

Индексира се в SCOPUS, WoS, SJR 0.227, точки 10.

Abstract: Ellipsometric characterization is presented of a CrTiAlN hard coating deposited by unbalanced magnetron sputtering at low temperatures. Such coatings find applications where the tool material cannot withstand temperatures exceeding 200 °C. The Cr/CrN/CrTiAlN coatings deposited using the UDP-850 equipment is characterized by UV-VIS and IR ellipsometry. A FIB cross-section is made and the thickness of the coating is measured using SEM. The roughness of the coating surface is determined by AFM. The ellipsometric measurements yielded data on the phase difference Δ , amplitude ratio ψ , the frequency dependent real ($\epsilon_1(\omega)$) and imaginary ($\epsilon_2(\omega)$) part of the dielectric function and the corresponding refractive and extinction indexes $n(\omega)$ and $k(\omega)$. The optical parameters are modelled by regression analysis implemented using the WVASE© software. A very good fit is achieved between the measured optical data and the corresponding models. The results show that the ellipsometric characterization data can be used to determine the surface structure, chemical composition and optical reflection characteristics of CrTiAlN hard coatings.

Резюме: Представена е характеризацията с елипсометър на твърдо покритие CrTiAlN нанесено с разбалансирано магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле при ниски температури. Такива покрития намират приложения където материалите на инструментите не могат да издържат температури надвишаващи 200 °C. Покритията от Cr/CrN/CrTiAlN нанесени с оборудване UDP850 са характеризирани с елипсометър в ултравиолетовия, видимия и инфрачервения спектър. Разрез с фокусиращ йонен лъч е направен и дебелината на покритието е измерена посредством Сканиращ Електронен Микроскоп. Грапавостта на повърхността на покритието е определена с атомно силова микроскопия. Чрез елипсометричните измервания се получават данни за фазовата разлика Δ , амплитудното съотношение ψ , честотно зависимите реална ($\epsilon_1(\omega)$) и имажинерна ($\epsilon_2(\omega)$) част на диелектричната функция и съответните коефициенти на пречупване $n(\omega)$ и затихване $k(\omega)$. Оптичните параметри са моделирани с регресионен анализ включен в използвания софтуер WVASE©. Много добро съвпадение е постигнато между измерените оптични данни и съответните модели. Резултатите показват, че получените данни от характеризацията с елипсометър могат да бъдат използвани за определяне на структурата на повърхността, химичния състав и оптичните отразителни характеристики на твърдите покрития от CrTiAlN.

B_4.

V. Chitanov, L. Kolaklieva, T. Cholakova, R. Kakanakov, “Investigation of triple Cr-Ti-based nitride coatings depending on the graded transition layers”, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 50, Publisher: Bulgarian Chemical Society, Bulgarian Academy of Sciences, Union of Chemists in Bulgaria, ISSN:0324-1130, pp. 205-211, 2018.

http://www.bcc.bas.bg/bcc_volumes/Volume_50_Special_G_2018/50G_PD_205-211.78.pdf

Индексира се в Scopus, ISI IF:0.242, Q4, SJR 0.142, точки 12

Abstract: The results from investigation of the relation between the structure of the transition layers and nanohardness and adhesion of the triple Cr-Ti-based nitride coatings are presented in this article. The coatings were deposited on tool steel substrates at temperature of 140 °C and a nitrogen flow of 13 and 18 sccm. Two types of the coating composition, Ti/TiN/TiCrN and Cr/CrN/CrTiN were studied. Nanohardness of 21 GPa to 27 GPa and 22 GPa to 24 GPa was measured for Ti-based and Cr-based structures, respectively, The increase of the N₂ flow in the Cr-based samples has shown considerably improved adhesion to the substrates in comparison with the Ti-based ones. In both cases, the increase of reactive gas flow decreases the coefficient of friction to 0.14 for the Ti-based and to 0.10 for Cr-based structures. The optimal combination of nanohardness, adhesion and coefficient of friction was achieved for the Cr/CrN/CrTiN samples deposited at a nitrogen flow of 18 sccm.

Резюме: Резултатите от изследването на връзката между структурата на преходните слоеве и нанотвърдостта и адхезията на тройните Cr-Ti-базирани нитридни покрития са представени в тази статия. Покритията са нанесени върху подложки от инструментална стомана при температури от 140 °C и поток азот от 13 и 18 sccm. Два вида покрития със съответния състав са изучени Ti/TiN/TiCrN и Cr/CrN/CrTiN. Нанотвърдости от 21 GPa до 27 GPa и от 22 GPa до 24 GPa съответно са измерени за Ti-базираната и Cr-базираната структури. Увеличението на потока азот при Cr-базираните образци показва значително подобрена адхезия към подложките в сравнение с Ti-базираните. И в двата случая, увеличението на потока на реактивния газ намалява коефициента на триене до 0.14 за Ti-базираните и до 0.10 за Cr-базираните структури. Оптимална комбинация от нанотвърдост, адхезия и коефициент на триене е постигната за образците Cr/CrN/CrTiN нанесени при поток азот 18 sccm.

B_5.

T. Cholakova, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, V. Chitanov, B. Rangelov, S. Atanasova, P. Stefanov, G. Atanasova, K. Balashev, “Effect of the heat treatment on mechanical and structural properties of CrTiAlN coatings deposited at low temperature”, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 50, Bulgarian Academy of Sciences, Union of Chemists in Bulgaria Publisher: Bulgarian Chemical Society, ISSN:0324-1130, pp. 197-204, 2018. http://www.bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_50_Special_G_2018/50G_PD_197-204.105.pdf

Индексира се в SCOPUS, IF:0.242, Q4 SJR: 0.142, точки 12

Abstract: The present article investigates the mechanical properties and microstructure of the CrTiAlN thin coatings obtained at a low deposition temperature (150°C) using Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering (CFUBMS) technique onto different substrates. In order to determine the effect of heat treatment on mechanical and structural properties, the as-deposited CrTiAlN coatings were annealed in an argon atmosphere and air at different temperatures (400-800°C) for 2 hours. The alteration of the morphology, microstructure, chemical composition, hardness and adhesion strength after the treatment was analysed by atomic force microscopy (AFM), scanning electron microscopy (SEM) complemented with an energy dispersive x-ray spectroscopy analysis, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), a Nanoindentation Tester and a Micro Scratch Tester. After an annealing to the temperature of 600°C the coatings demonstrated higher hardness and elastic modulus of 29 ± 2 GPa and 365 ± 20 GPa, respectively. Further increase of the treatment temperature caused decrease of the coating hardness and elastic modulus and rise of the surface roughness and coefficient of friction.

Резюме: Настоящата статия изследва механичните свойства и микроструктурата на тънки CrTiAlN покрития получени при ниски температури на нанасяне (150 °C) използвайки технологията Разбалансирано магнетронно разпрашване в затворено магнитно поле върху различни подложки. За да се определи ефекта от температурно третиране върху механичните и структурните свойства, нанесените покрития от CrTiAlN бяха отгряти в аргонова атмосфера и въздух при различни температури (400-800 °C) за два часа. Промяната в морфологията, микроструктурата, химичния състав, твърдостта и адхезионната сила след обработката беше анализирана с атомно силов микроскоп (AFM), сканиращ електронен микроскоп (SEM) окомплектован с енергиен дисперсионен X-ray спектроскопски анализ, X-ray фотоелектронен спектроскоп (XPS), наноиндентиращ тестер и микро тестер на надраскване. След нагряване до температури от 600 °C покритието демонстрира висока твърдост и еластичен модул съответно от 29 ± 2 GPa и 365 ± 20 GPa. Последващото увеличаване на третиращата температура води до намаляване на твърдостта на покритието и еластичния модул и увеличаване на грапавостта на повърхността и коефициента на триене.

B_6.

T. Cholakova, V. Chitanov, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, B. Rangelov, S. Atanasova-Vladimirova, P. Stefanov, G. Atanasova, K. Balashev, **“Ti- and Cr-based hard coatings obtained at low temperatures by unbalanced magnetron sputtering”**, *Journal of Physics: Conf. Series*, vol. 992, issue 1, Article number 012030, IOP Publishing, DOI:doi:10.1088/1742-6596/992/1/012030, 1-8., 20th International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies, VEIT 2017; Black Sea Resort Sozopol; Bulgaria; 25 September 2017 through 29 September 2017, **2018**

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/992/1/012030>

Индексира се в Scopus, WoS, SJR:0.241, **точки 10**

Abstract: We prepared a set of Ti- and Cr-based ternary and quaternary hard coatings at low deposition temperatures (< 200 °C) by closed-field unbalanced magnetron sputtering in a gas mixture of Ar + N₂. The morphological, structural and mechanical properties of the coatings

were characterized by means of atomic force microscopy, scanning electron microscopy, X-ray photoelectron spectrometry, a micro-scratch tester and a nanoindentation tester. The results of the analyses performed revealed that the surface of the deposited ternary Ti-Al-N coatings was rougher than that of the CrTiAlN coatings. The metallic elements in the coatings react with nitrogen to form CrN, TiN and AlN nitride phases, as no Cr₂N phase was detected in the Cr-based coatings. The optimized quaternary coating demonstrated mechanical properties superior to those of the ternary ones in terms of hardness; adherence strength of 32 GPa and elastic modulus of 418 GPa were measured for the multicomponent coating of composition Cr_{0.68}Ti_{0.19}Al_{0.13}N.

Резюме: Ние подготвихме група от Ti- и Cr-базирани тройни и четворни твърди покрития при ниски температури на нанасяне (<200 °C) чрез разбалансирано магнетронно разпрашване в затворено магнитно поле в газова смес от Ar+N₂. Морфологията, структурата и механичните свойства на покритията са характеризирани посредством атомно силова микроскопия, сканиращ електронен микроскоп, X-ray фотоелектронен спектрометър, микротестер на надраскване и наноиндентиращ тестер. Резултатите от направения анализ разкриват, че повърхността на нанесените тройни Ti-Al-N покрития е по-груба от тази на четворните CrTiAlN покрития. Металите в покритията реагират с азота за да формират CrN, TiN и AlN нитридни фази, тъй като никаква Cr₂N фаза не е установена при Cr-базираните покрития. Оптимизираните четворни покрития демонстрират превъзхождащи механични свойства спрямо тройните относно твърдост, адхезионна сила от 32 GPa и еластичен модул от 418 GPa измерени за многокомпонентното покритие със състав Cr_{0.68}Ti_{0.19}Al_{0.13}N.

B_7.

St. Rabadzhiyska, L. Kolaklieva, V. Chitanov, T. Cholakova, R. Kakanakov, N. Dimcheva, K. Balashev, “**Mechanical, wear and corrosion behavior of CrN/TiN multilayer coatings deposited by low temperature unbalanced magnetron sputtering for biomedical applications**”. *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, Issue 8, pp. 16012-16021 ELSEVIER, 2018, ISSN:2214-7853, 16012-16021., 14th International Conference on Nanosciences and Nanotechnologies, NN 2017, Thessaloniki; Greece; 4 July 2017 through 7 July 2017, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.05.046>.

Индексира се SCOPUS, WoS, SJR:0.314, точки 10

Abstract: A multilayer CrN/TiN coating was deposited onto a high-speed steel substrate by unbalanced magnetron sputtering at different nitrogen flow, temperatures of 130-200 °C and a bias voltage of -60 V, -70 V and -80 V. The nanohardness and elastic modulus were in the range of 23-32 GPa and 245-378 GPa, respectively. The results of the scratch tests showed good adhesion of the coating to the substrate. The coefficient of friction was ranged of 0.09-0.25. The multilayer CrN/TiN coatings demonstrated low average surface roughness of 16.2 nm. The electrochemical tests indicated high corrosion resistance of the. The wear rates of the multilayer CrN/TiN coatings were evaluated to be $7.04 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ and $5.44 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ by a scratch test and a ball on flat test, respectively.

Резюме: Многослойно покритие CrN/TiN е нанесено върху подложка от високооборотна стомана чрез разбалансирано магнетронно разпрашване при различен поток азот,

температури между 130-200 °C и базисно напрежение от -60V, -70V и -80V. Нанотвърдостта и модула на еластичност бяха в диапазона съответно 23-32 GPa и 245-378 GPa. Резултатите от теста на надраскване показват добра адхезия на покритието към подложката. Коефициентът на триене беше в диапазона 0.09-0.25. Многослойното покритие CrN/TiN демонстрира ниска средна грапавост на повърхността от 16.2 nm. Електрохимичните тестове показват висока корозионна устойчивост. Скоростта на износване на многослойното покритие CrN/TiN изчислена с тест на надраскване и топче върху плоча се оценява съответно на $7.04 \times 10^{-5} \text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$ и $5.44 \times 10^{-5} \text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$.

B_8

St. Rabadzhiska, L. Kolaklieva, T. Cholakova, R. Kakanakov, **V. Chitanov**, P. Stefanov, G. Atanasova, K. Balashev, B. Rangelov, S. Atanasova, “**Multilayer CrN/TiN coatings deposited at low temperatures by unbalanced magnetron sputtering for implant applications**”, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 50, , Bulgarian Academy of Sciences, Union of Chemists in Bulgaria Publisher: Bulgarian Chemical Society, ISSN:0324-1130, ISI, pp. 172-180, **2018**,

http://www.bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_50_Special_G_2018/50G_PD_172-180.80.pdf

Индексира се в SCOPUS, IF:0.242, Q4, SJR: 0.142, **точки 12**

Abstract: A multilayer CrN/TiN coating was developed and deposited onto high speed steel (HSS) specimens by unbalanced magnetron sputtering in a closed-field magnetron configuration at a temperature lower than 200 °C from Cr (99.99 %) and Ti (99.99%) targets. Multilayers were deposited at different nitrogen partial pressure, a target current ratio ranged from 0.7 to 1 and a bias voltage of -60 V, -70 V and – 80 V. The study of mechanical properties indicated that the highest hardness value of 31 GPa and elastic modulus of 378 GPa were achieved at a bias voltage of -80 V and a target current ratio $I_{\text{Cr}}/I_{\text{Ti}} = 0.7$. The performed scratch tests exhibited good adhesion of the coating to the substrate as no cracks and delamination in the scratch track were observed. The coating thickness varied between 1.2 μm and 1.7 μm . The wear rate of the film was estimated to be $4.8 \times 10^{-6} \text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was used to determine binding energies between Cr, Ti and N elements in the coatings. The surface roughness was evaluated to be 16.2 nm by Atomic force microscopy (AFM). The coating surface was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM). Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis defined the elemental composition in the multilayer coating layer to be 46.73 at.% chromium, 43.67 at.% nitrogen, 9.61 at.% titanium.

Резюме: Многослойно покритие CrN/TiN беше разработено и нанесено върху образци от бързооборотна стомана посредством разбалансирано магнетронно разпращване в затворено магнитно поле при температури по-ниски от 200 °C от Cr (99.99 %) и Ti (99.99%) таргети. Многослойните слоеве бяха нанесени при различно парциално налягане на азота, съотношение на токовете на таргетите в диапазона от 0.7 до 1 и базисно напрежение от -60V, -70V и -80V. Изследването на механичните свойства показва, че най-високата стойност на твърдост от 31 GPa и модул на еластичност от 378 GPa са постигнати при базисно напрежение от -80V и съотношение на токовете на таргетите $I_{\text{Cr}}/I_{\text{Ti}} = 0.7$. Направеният тест на надраскване показва добра адхезия на покритието към подложката тъй като не се наблюдават нарушения и отлюспвания в

следата на надраскването. Скоростта на износването е оценена на $4.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$. X-ray фотоелектронна спектроскопия (XPS) беше използвана за определяне на енергията на връзката между елементите Cr, Ti и N в покритието. Грападостта на повърхността беше оценена на 16.2 nm с атомно силов микроскоп (AFM). Повърхността на покритието беше характеризирана със сканиращ електронен микроскоп (SEM). Анализ направен с електронен X-ray дисперсионен спектроскоп (EDX) определи елементния състав в многослойното покритие съответно 46.73 at.% хром, 43.67 at.% азот, 9.61 at.% титан.

B_9

L. Kolaklieva, S. Rabadzhiyska, R. Kakanakov, **V. Chitanov**, T. Cholakova, V. Rupetchov, G. Mishev, “**Evaluation of the Mechanical and tribological properties of multilayer CrN/TiN films deposited at low temperatures**”, *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM*, Vol. 2017, 12 December 2017, 30th IEEE International Conference on Microelectronics, MIEL, Proceedings Nis, Code 133854, pp. 187 – 190, **2017**, DOI: 10.1109/MIEL42362.2017, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8190099/metrics#metrics>

Индексира се в SCOPUS WoS SJR 0.11 **точки 10**

Abstract: Multilayer CrN/TiN protective films were developed at deposition temperatures lower than 200 °C. The mechanical and tribological behaviour were investigated depending on the main technological parameters. The coatings exhibit high nanohardness of 31.3 GPa, excellent adhesion to the substrate and improved resistance to plastic deformations and elastic strain to failure resistance, impaling the enhanced toughness.

Резюме: Многослойни CrN/TiN защитни слоеве бяха разработени и нанесени при температури по-ниски от 200 °C. Механичното и трибологичното поведение беше изследвано в зависимост от основните технологични параметри. Покритието показва висока нанотвърдост от 31.3 GPa, отлична адхезия към подложката и подобрена устойчивост към пластична деформация и еластична устойчивост и якост на опън, в комбинация с подсилена жилавост.

B_10.

T. Cholakova, **V. Chitanov**, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, D. Kovacheva, P. Stefanov, S. Rabadzhiyska, E. Korina, V. Kopanov, “**Protective multilayer (Ti, Al) N coatings deposited at low temperature by closed field unbalanced magnetron sputtering**”, *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 48, Special Issue March 2016, 15th International Scientific Conference on Renewable Energy and Innovative Technologies, Publisher Bulgarian Academy of Sciences, central library 7 noemvri no 1, Sofia, 00000, Bulgaria, ISSN: 0324-1130, pp. 384 – 390, **2016**

http://www.bcc.bas.bg/bcc_volumes/Volume_48_Special_E_2016/Special%20Issue%20E/Sta tii/Pages384-390.pdf

Индексира се в WoS, IF 0.242, Q4, SJR 0.14, точки 12

Abstract: This article reports the results of a study of the physical-mechanical properties of the multilayer Ti-Al-N coatings deposited onto two types of substrates: high-speed steel and carbon tool steel. The coatings were deposited at the temperatures of 150-200 °C by closed-field reactive unbalanced magnetron sputtering, while the process parameters were optimized to achieve adherent good quality coatings. Nanoindentation, scratch tests, X-ray diffractometry (XRD) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) were used to characterize structural, compositional and mechanical properties of the coatings. The obtained coatings exhibited nanohardness and elastic modulus in the range of 26-38 GPa and 320-418 GPa respectively. The results of the scratch tests showed that the state of adhesion of the coating to the substrate depends on the coating deposition conditions. The measured coefficient of friction for all of the coatings was in the range of 0,09-0,13. The XPS and XRD analyses revealed that the coatings have $\text{Ti}_{0.42}\text{Al}_{0.58}\text{N}$ composition with a lattice constant of 4.17Å. The findings are that the main process parameters defining the mechanical properties of the deposited at low temperature Ti-Al-N coatings are: reactive gas flow rate, sputtering temperature and plasma cleaning time.

Резюме: Тази статия докладва резултатите от изучаването на физично-механичните свойства на многослойните покрития от Ti-Al-N нанесени върху два типа подложки: високооборотна стомана и въглеродна инструментална стомана. Покритията бяха нанесени при температури 150-200 °C с разбалансирано магнетронно разпрашване в затворено магнитно поле, докато параметрите на процеса бяха оптимизирани за да се постигнат добри адхезионни качества на покритието. Наноиндентирание, тест на надраскване, рентгенов дифракционен анализ XRD и рентгенова фотоелектронна спектроскопия XPS бяха направени за да се характеризира структурата, състава и механичните свойства на покритията. Получените покрития показаха съответно нанотвърдост и еластичен модул в диапазона от 26-38 GPa и 320-418 GPa. Резултатите от теста на надраскване показаха, че състоянието на адхезията на покритието към подложката зависи от условията на нанасяне на покритието. Измереният коефициент на триене за всички покрития беше в диапазона 0.09-0.13. Анализите с XPS и XRD разкриха, че покритията имат състав $\text{Ti}_{0.42}\text{Al}_{0.58}\text{N}$ с константа на решетката от 4.17Å. Установи се, че основните параметри на процеса определят механичните свойства на нанесеното при ниски температури покритие от Ti-Al-N и те съответно са: поток на реактивния газ, температура на разпрашване и време на плазмено почистване.

II. Статии показател Г, група 7, Научна публикация в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus), извън хабилитационния труд.

Г_1.

L. Kolaklieva, R. Kakanakov, D. Kovacheva, **V. Chitanov**, T. Cholakova, Ch. Bahchedjiev, St. Kolchev, “**Effect of the Post-Deposition Thermal Treatment on the Mechanical Properties of a Compositionally Modulated CrAlSiN-AlSiN Coating**”, *Coatings*, Vol. 11, Issue: 11, Article number 1311, Nov. 2021, **2021**, <https://doi.org/10.3390/coatings11111311>, <https://www.mdpi.com/2079-6412/11/11/1311>.

Индексира се в Scopus, WoS, SJR 0.463, IF 2.881, Q2/Q3, 20 точки

Abstract: A CrAlSiN-AlSiN coating with periodically modulated composition was investigated regarding dependence of the mechanical properties and toughness, morphology, composition, and structure on thermal treatment in the interval of 600–900 °C in argon ambience. The coating exhibited superhardness and high toughness up to 800°C. A very slight decrease in the nanohardness, resistance to elastic strain to failure, and plastic deformation were observed. The coating had enhanced elastic recovery stable up to 700°C. It was found that the coating morphology was not substantially influenced by the thermal treatment. X-ray diffraction (XRD) analysis revealed that the modulated coating had a nanocomposite structure, which did not change after annealing, even at 900 °C. The grains were composed mainly of fcc-CrN and h-AlN phases embedded into an amorphous Si₃N₄ matrix. A small amount of an h-Cr₂N phase appeared after heating at temperatures above 700 °C. The coating composition was examined by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The coating was stoichiometric up to 800 °C. It became sub-stoichiometric with respect to nitrogen after annealing at 800 °C and 900 °C. It is thus concluded that the CrAlSiN-AlSiN coating with a periodically modulated structure keeps the combination of superhardness (45.3 GPa) and improved toughness (H₃/E*2 = 0.362 GPa, elastic recovery 57%) at temperatures up to 800 °C, and is suitable for high thermal applications.

Резюме: Покритие CrAlSiN-AlSiN с периодично модулиран състав е изследвано относно зависимостта на механичните свойства и жилавостта, морфологията, състава и структурата от топлинно третиране в интервала 600-900 °C в аргонова среда. Покритието показва свръхтвърдост и висока жилавост до 800 °C. Много слабо намаление в нанотвърдостта, устойчивостта на еластичен опън и якост и пластична деформация се наблюдава. Покритието показва засилено и стабилно еластично възстановяване до 700 °C. Установи се, че морфологията на покритието не се е повлияла от прогряването. Анализа с ренгенова дифракция (XRD) разкри, че модулираното покритие има нанокомполитна структура, която не се променя дори след прогряване до 900 °C. Зърната са съставени основно от fcc-CrN и h-AlN фази инкорпорирани в матрица от аморфен Si₃N₄. Малко количество от h-Cr₂N фаза се появява след отгряване при температури над 700 °C. Състава на покритието е изучен с енергодисперсионна ренгенова спектроскопия (EDS). Покритието е стехиометрично до температури от 800 °C. То става

субстехиометрично относно азота след отгряване при температури от 800 °C и 900 °C. Следователно може да се заключи, че покритието CrAlSiN-AlSiN с периодично модулирана структура запазва комбинацията от свръхтвърдост (45.3 GPa) и подобрена жилавост ($H^3/E^{*2} = 0.362$ GPa, еластично възстановяване 57%) при температури до 800 °C, и е подходящо за високотемпературни приложения.

Г_2.

L. Kolaklieva, R. Kakakanakov, P. Stefanov, D. Kovacheva, G. Atanasova, S. Russev, V. Chitanov, T. Cholakova, H. Bahchedjiev, ‘**Mechanical and Structural Properties of Nanocomposite CrAlSiN–AlSiN Coating with Periodically Modulated Composition**’, *Coatings*, vol. 10, issue 41, MDPI AG, 2020, ISSN: 2079-6412, 1-13, 2020, DOI:doi:10.3390/coatings10010041.

Индексира се в SCOPUS, WoS, JCR-IF (Web of Science):2.3, SJR 0.463, Q2, 20 точки

Abstract: A nanocomposite CrAlSiN–AlSiN coating with periodically modulated composition was developed and investigated regarding the effect of the composition and structure on the mechanical properties. The modulation was performed by variation of the pressure, cathode current and bias voltage during deposition. The structure and composition of the coating were investigated by X-ray diffraction (XRD), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analyses. The coating had a nanocomposite structure consisting of (CrAl)N and (AlSi)N nanograins embedded in a Si₃N₄ matrix. The EDS analysis of the cross-section revealed that the period composition had changed from Cr_{0.51}Al_{0.41}Si_{0.08}N to Al_{0.82}Cr_{0.04}Si_{0.14}N. It was shown that the elastic modulus could be adjusted by composition modulation. The coating hardness of 54 GPa was obtained by nanoindentation. The modulated CrAlSiN–AlSiN coating exhibited improved elastic strain to failure ($H/E^* = 0.11$, H —nanohardness, E^* —the effective elastic modulus), excellent resistance to plastic deformation ($H^3/E^{*2} = 0.72$), and elastic recovery of 70%, which suggested improved toughness.

Резюме: Нанокompозитно покритие CrAlSiN–AlSiN с периодично модулиран състав е разработено и изследвано относно влиянието на състава и структурата върху механичните свойства. Модулацията е направена чрез вариране на налягането, тока на катода и базисното напрежение по време на нанасяне. Структурата и състава на покритието бяха изследвани с ренгенова дифракция (XRD), енергодисперсионен ренгенов спектрометър (EDS), и ренгенов фотоелектронен спектрометър (XPS). Покритието има нанокompозитна структура състояща се от зърна (CrAl)N и (AlSi)N вградени в матрица от Si₃N₄. Анализът с EDS на разреза на образеца разкри, че периодичния състав се променя от Cr_{0.51}Al_{0.41}Si_{0.08}N на Al_{0.82}Cr_{0.04}Si_{0.14}N. Показа се, че еластичния модул може да се настройва чрез модулация на състава. Твърдостта на покритието от 54 GPa е получена чрез наноиндентирание. Модулираното покритие CrAlSiN–AlSiN притежава подобрена еластичност и якост на опън ($H/E^* = 0.11$, H —нанотвърдост, E^* —ефективен еластичен модул), отлична устойчивост на пластична деформация ($H^3/E^{*2} = 0.72$), и еластично възстановяване от 70%, което предполага подобрена жилавост.

Г_3.

L. Kolaklieva, V. Chitanov, A. Szekeres, K. Antonova, P. Terziyska, Z. Fogarassy, P. Petrik, I. Mihailescu, L. Duta, “**Pulsed Laser Deposition of Aluminum Nitride films: Correlation between mechanical, optical and structural properties**”, *Coatings*, vol. 9, Issue 3 art. 195, MDPI, ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND, ISSN:2079-6412, 195, **2019**, DOI:10.3390/coatings9030195.

Индексира се в SCOPUS, WoS, JCR-IF (Web of Science):2.684, Q2 SJR 0.463, 20 точки

Abstract: Aluminum nitride (AlN) films were synthesized onto Si(100) substrates by pulsed laser deposition (PLD) in vacuum or nitrogen, at 0.1, 1, 5, or 10 Pa, and substrate temperatures ranging from RT to 800 °C. The laser parameters were set at: incident laser fluence of 3–10 J/cm² and laser pulse repetition frequency of 3, 10, or 40 Hz, respectively. The films' hardness was investigated by depth-sensing nanoindentation. The optical properties were studied by FTIR spectroscopy and UV-near IR ellipsometry. Hardness values within the range of 22–30 GPa and Young's modulus values of 230–280 GPa have been inferred. These values were determined by the AlN film structure that consisted of nanocrystallite grains, strongly dependent on the deposition parameters. The values of optical constants, superior to amorphous AlN, support the presence of crystallites in the amorphous film matrix. They were visualized by TEM and evidenced by FTIR spectroscopy. The characteristic Reststrahlen band of the *h*-AlN lattice with component lines arising from IR active phonon vibrational modes in AlN nanocrystallites was well detectable within the spectral range of 950–500 cm⁻¹. Control X-ray diffraction and atomic force microscopy data were introduced and discussed. All measurements delivered congruent results and have clearly shown a correlation between the films' structure and the mechanical and optical properties dependent on the experimental conditions.

Резюме: Слоеви от алуминиев нитрид (AlN) бяха синтезирани върху подложки от Si(100) чрез импулсно лазерно нанасяне (PLD) във вакуум или азот при 0.1, 1, 5 или 10 Pa и температура на подложката варираща от стайна температура до 800 °C. Параметрите на лазера бяха зададени: енергийна плътност на падащия лъч 3–10 J/cm² и честота на повторение на лазерните импулси съответно от 3, 10 или 40 Hz. Нанотвърдостта на слоевете беше изследвана чрез отчитащото дълбочината наоиндентирание. Оптичните свойства бяха изучавани чрез FTIR спектроскопия и ултравиолетова и инфрачервена елипсометрия. Стойности на твърдостта в диапазона 22–30 GPa и модул на Юнг 230–280 GPa бяха установени. Тези стойности бяха определени от структурата на слоевете AlN, която се състои от нанокристални зърна силно зависеща от параметрите на нанасяне. Стойностите на оптичните константи, превъзхождащи аморфния AlN, поддържат наличието на кристали в аморфната матрица на слоя. Те бяха визуализирани с TEM и доказани с FTIR спектроскопия. Характеристичната зона на Reststrahlen на *h*-AlN решетка със съставни линии произлизащи от инфрачервените активни вибрационни режими на фононите при AlN нанокристали бяха детектирани в спектралния диапазон 950–500 cm⁻¹. Контролни данни от рентгеновата дифракция и атомно силовата микроскопия бяха представени и дискутирани. Всички измервания показват съответстващи резултати и ясно показват връзка между структурата на слоевете и механичните и оптичните свойства в зависимост от условията на експеримента.

Г_4.

L. Kolaklieva, R. Kakanakov, T. Cholakova, H. Bahchedjiev, V. Chitanov, “An AlSiN Nanocomposite Film with Improved Mechanical Parameters for Multifunctional Applications”, *IEEE, Elsevier*, 2019, ISSN:2159-1679, Article number 8889603, pp.129-132, 31st International Conference on Microelectronics, Nis, Serbia; 16 September, 2019, 2019 DOI:10.1109/MIEL.2019.

Индексира се в Scopus, WoS, SJR 0.11, 10 точки

Abstract: An AlSiN film was deposited by cathodic arc evaporation. The structure and composition of the film were investigated by XRD, EDS and XPS analyses. The film had a nanocomposite structure consisting of (AlSi)N nanograins incorporated in a Si₃N₄ matrix. The film hardness determined by nanoindentation measurements was found to be 46 GPa. The AlSiN nanocomposite demonstrated improved elastic strain to failure ($H/E=0.10$), very good resistance to plastic deformation ($H^3/E^2=0.44$) and elastic recovery of 67%, which indicated improved toughness. The nanocomposite AlSiN film exhibited a low friction coefficient of 0.9 against the diamond indenter and enhanced wear resistance with wear rate of $7.56 \times 10^{-10} \text{ mm}^3 / (\text{N.GPa.m})$.

Резюме: Слой AlSiN е нанесен чрез катодно-лъгово изпарение. Структурата и състава на слоя са изследвани чрез XRD, EDS и XPS анализи. Слой има нанокомпозитна структура състояща се от (AlSi)N наноърна инкорпорирани в матрица от Si₃N₄. Твърдостта на слоя определена с наноиндентиращи измервания е установена на 46 GPa. Нанокомпозита AlSiN демонстрира подобрена еластична устойчивост на опън ($H/E=0.10$), много добра устойчивост на пластична деформация ($H^3/E^2=0.44$) и еластично възстановяване от 67%, което индицира подобрена жилавост. Нанокомпозитния слой AlSiN показва нисък коефициент на триене от 0.9 срещу диамантен индентор и подобрена изнosoустойчивост със скорост на износване $7.56 \times 10^{-10} \text{ mm}^3 / (\text{N.GPa.m})$.

Г_5.

V. Rupetsov, S. Dishliev, C. Pashinski, G. Mishev, M. Angelov, L. Kolaklieva, V. Chitanov, ‘Tribomechanical behavior of nanolaminate Ti/TiN/TiCrCn/(CrCn/tiCN)n hard coating’, *Journal of the Balkan Tribological Association*, vol. 25, issue 3, Publisher: Scientific Bulgarian Communication, ISSN:13104772, pp. 610-616, 2019.

Индексира се в Scopus, Q3, SJR:0.211, 15 точки

Abstract: A large number of the frequently used coatings for cermet cutting tools are not appropriate for precise high speed machining of aluminium alloys because of the material stratification on the cutting edges (build-up edge occurrence). This is a prerequisite for worse precision in the machining process and surface quality degradation. Concerning this problem, an innovative nanolaminate Ti/TiN/ TiCrCN/(CrCN/TiCN)n hard coating was developed by Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering, which is subject of this research. The coating was deposited on WCCo alloy and had thickness of 2,150 µm. The coating’s superlattice structure was built at temperature of 290 °C and pulsed bias voltage of -90 V. It consisted of

133 bi-layers (period of ca. 12,4 nm, ratio of 1:1). The main tribomechanical properties of the coating – hardness, wear resistance, adhesion, coefficient of friction and modulus of elasticity were examined in details. Mills with the mentioned coating were used in real manufacturing process and build-up edge was not observed in comparison to the uncoated mills used in the same working mode. As a result, the accuracy of the dimensions and quality of the surfaces were improved.

Резюме: Голям брой от често използваните покрития за керметни режещи инструменти не са подходящи за прецизна високооборотна обработка на алуминиеви сплави, защото се получава стратификация на режещите ръбове (образуване на напластяване на ръбовете). Това е предпоставка за лоша прецизност при машинната обработка и деградация на качеството на повърхността. Относно този проблем е разработено иновативно наноструктурирано твърдо покритие $\text{Ti/TiN/TiCrCN}/(\text{CrCN/TiCN})_n$ с разбалансирано магнетронно разпрашване в затворено магнитно поле, което е предмет на това изследване. Покритието е нанесено върху сплав от WCCo и има дебелина 2,150 μm . Покритие със структура на свръхрешетка е нанесено при температура от 290 °C и импулсно базисно напрежение от -90V. Състои се от 133 билеъра (период 12.4 nm, съотношение 1:1). Основните трибомеханични свойства на покритието – твърдост, износоустойчивост, адхезия, коефициент на триене и модул на еластичност бяха изучени в детайли. Фрези с разгледаното покритие бяха използвани в реален производствен процес и образуване на напластяване на ръба не се наблюдаваше в сравнение с непокрити фрези използвани при същите работни условия. Като резултат, точността на размерите и качеството на повърхността бяха подобрени.

Г_6.

V. Rupetsov, L. Kolaklieva, **V. Chitanov**, M. Angelov, R. Raychev, Z. Zlatanov, C. Pashinski, “**Deposition and tribomechanical study of nanolaminate $\text{Ti/TiN/AlTiSiN}/(\text{AlTiSiN/TiAlSiN})_n/\text{AlTiSiN}$ hard coating**”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 618, issue 1, Article number 012047, ISSN:1757-8981, **2019**, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/618/1/012047>.

Индексира се в Scopus, SJR (Scopus):0.198, 10 точки

Abstract: The application of Physical Vapor Deposition (PVD) hard coatings is one time-tested practice in the modern industry. Two of the main tendencies that promise a progress in this area are the combination of more chemical elements in one coating and the creation of nanolaminate structures. Since many combinations are possible in the design of the coatings, it could be expected they would have many different properties which are difficult to predict. In an attempt to work simultaneously in both of these directions, one nanolaminate $\text{Ti/TiN/AlTiSiN}/(\text{AlTiSiN/TiAlSiN})_n/\text{AlTiSiN}$ coating was developed and its mechanical properties were tested. The results obtained give a reason to believe that it could be widely practically applied.

Резюме: Приложението на твърди покрития от физичното парно отлагане (PVD) е установена практика в съвременната индустрия. Две от главните тенденции притежаващи обещаващ прогрес в тази област са комбинирането на повече химични елементи в едно

покрытие и създаването на нанослойни структури. Тъй като много комбинации са възможни при проектирането на покритията, може да се очаква, че те могат да имат много различни свойства, които е трудно да се предскажат. Като опит да се работи съвместно в двете посоки е разработено нанослойното покритие Ti/TiN/AlTiSiN/(AlTiSiN/TiAlSiN)_n/AlTiSiN и неговите механични свойства са тествани. Получените резултати дават основание да се вярва, че то може да се приложи широко в практиката.

Г_7

T. Cholakova, V. Chitanov, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, K. Balashev, B. Ranguelov, V. Rupetcov, G. Mishev, “**Study of the mechanical properties of Ti-and Cr based multicomponent hard coatings**”, *MATEC Web of Conferences*, vol. 145, Issue 9, Article number 02003, EDP Sciences, France, ISSN:eISSN: 2261-236X, 01-09, 13th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, NCTAM 2017, Institute of Mechanics - Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, 6-10 September 2017, **2018**, DOI:<https://doi.org/10.1051/matecconf/201814502003>.

Индексира се в Scopus, SJR 0.17, WoS, 10 точки

Abstract: TiCrAlN and CrTiAlN multicomponent coatings have been developed using closed-field unbalanced magnetron sputtering technique (CFUBMS) in a gas mixture of Ar + N₂. The nitrogen level was varied by using the feedback control of plasma optical emission monitor (OEM). An investigation into the effect of the CFUBMS process parameters on the properties of the coatings was undertaken. The main coatings parameters such as thickness, surface morphology, nanohardness, strength of adhesion and wear resistance were studied by means of ball-cratering method, atomic force microscopy, scanning electron microscopy, scratch tests and nanoindentation measurements. The study revealed strong dependency of the mechanical properties on the nitrogen flow rate. Analysis of the experimental results showed that Cr-based multicomponent coatings possess better mechanical properties than Ti-based coatings at a nitrogen flow rate of 21 sccm: higher value of hardness (≤ 31 GPa) and higher scratch resistance (> 30 N).

Резюме: Многокомпонентните покрития TiCrAlN и CrTiAlN бяха разработени чрез Разбалансирано магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле (CFUBMS) в газова смес от Ar + N₂. Количеството азот беше променяно чрез използване на Оптична емисионно мониторингова система с обратна връзка (ОЕМ). Изследване на влиянието на параметрите на процеса CFUBMS върху свойствата на покритията беше направено. Основните параметри на покритията, като дебелина, повърхностна морфология, нанотвърдост, адхезия и изнosoустойчивост бяха изследвани посредством метода топче-кратер, атомно силова микроскопия, сканираща електронна микроскопия, тест на надраскване и наноиндентирание. Изследването разкри силна зависимост между механичните свойства и потока азот. Анализът на експерименталните резултати показва, че Cr-базираните многокомпонентни покрития притежават по-добри механични свойства от Ti-базираните покрития при поток азот от 21 sccm, висока стойност на твърдост (≤ 31 GPa) и висока устойчивост на надраскване (> 30 N).

Г_8.

M. Angelov, T. Cholakova, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, V. Chitanov, "Properties of TiN/CrN superlattice hard coatings deposited by reactive magnetron sputtering", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 400, issue 3, Article number 032001, Institute of Physics Publishing, ISSN:1757-8981, 1-8., 6th International Conference on Modern Technologies in Industrial Engineering, ModTech, DOI:10.1088/1757-899X/400/3/032001, 2018.

Индексира се в Scopus, WoS, SJR:0.201, 10 точки

Abstract: Nanostructured TiN/CrN superlattice hard coatings were deposited using a reactive closed field unbalanced magnetron sputtering in the presence of additional anode for higher plasma ionisation degree at temperatures lower than 240 °C. Coatings with three different bilayer periods (Λ) of 16 nm, 20 nm and 24 nm with applying a moderate substrate bias were obtained. The effect of bilayer period on the mechanical and tribological properties of the coatings was investigated by atomic force microscopy, nanoindentation, micro scratch and ball-on-disk wear tests. All the coatings possessed enhanced hardness, decreased coefficient of friction, improved adhesion and higher toughness in comparison with single-layer and gradient-composition hard coatings. The highest hardness value of about 30 GPa and elastic modulus of 360 GPa were measured for the coating with bilayer thickness of 24 nm. The friction coefficient against the diamond tip was within the range 0.2 for $\Lambda=20$ nm to 0,208 for $\Lambda=16$ nm. The calculated wear rates against 3/16 inch alumina ball were within the range from $1,045 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ for $\Lambda=24$ nm to $1,955 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ for $\Lambda=16$ nm. The static coefficient of friction μ_{SS} against polished SS plate was $\mu_{SS}=0,268$ for $\Lambda=24$ nm, up to $\mu_{SS}=0,301$ for $\Lambda=16$ nm, as the reference TiN layer possesses $\mu_{SS}=0,218$. The wetting angle of the coatings against deionised water was between 91° for $\Lambda=16$ nm to 85° for $\Lambda=24$ nm.

Резюме: Наноструктурирани TiN/CrN твърди покрития бяха нанесени използвайки реактивно разбалансирано магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле с допълнителен анод за висока степен на плазмена йонизация при температури по-ниски от 240°C. Покрития с три различни двуслойни периода (Λ) от 16 nm, 20 nm и 24 nm и при прилагането на управляващо базисно напрежение бяха получени. Влиянието на двуслойния период върху механичните и трибологичните свойства на покритията беше изследвано чрез атомно силова микроскопия, наноиндентирание, микронадрасване и тест за износване топче върху плоча. Всички покрития притежават подобрена твърдост, намален коефициент на триене, подобрена адхезия и висока жилавост в сравнение с еднослойните и градиентните твърди покрития. Най-висока твърдост от около 30 GPa и модул на еластичност 360 GPa бяха измерени за покритието с дебелина на двуслойните слоеве от 24 nm. Коефициентът на триене срещу диамантен връх беше в диапазона 0.2 за $\Lambda=20$ nm до 0,208 за $\Lambda=16$ nm. Изчислените скорости на износване срещу 3/16 inch алуминиево топче бяха в диапазона от $1,045 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ за $\Lambda=24$ nm до $1,955 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ за $\Lambda=16$ nm. Статичния коефициент на триене μ_{SS} срещу полирана плоча от неръждаема стомана беше $\mu_{SS}=0,268$ за $\Lambda=24$ nm, до $\mu_{SS}=0,301$ за $\Lambda=16$ nm, а за слой от TiN използван за сравнение $\mu_{SS}=0,218$. Ъгълът на умокряне на покритието срещу дейонизирана вода беше между 91° за $\Lambda=16$ nm до 85° за $\Lambda=24$ nm.

Г_9.

V. Rupetsov, G. Mishev, S. Dishliev, V. Kopanov, V. Chitanov, L. Kolaklieva, Ch. Pashinski, **Increasing in the wear resistance of injection molds made of 1.2343 steel using Ti/TiN/TiCN/nc-TiCN:a-C/nc-TiC:a-C/a-C nanocomposite coating**, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 174, Issue 1, 1 March 2017, Article number 012064, ISSN:1757-8981, 1-8. 13th International Conference on Tribology, ROTRIB 2016; Natural Sciences Museum Complex Galati; Romania; 22-24 September 2016, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/174/1/012064>, 2017

Индексира се в SCOPUS, WoS, SJR:0.197, 10 точки

Abstract: Injection molds used in production of plastic components are subject of heavy abrasion wear. The increase of their wear resistance significantly reduces the production cost. In the current work are presented research results of the wear resistance of injection molds made of steel 1.2343, coated with Ti/TiN/TiCN/nc-TiCN: a-C/nc-TiC:a -C/a-C. The study of the wear rate was done using the volumetric method and the influence of the trace length was investigated. The coating thickness, nanohardness, elastic modulus and adhesion were also tested. The coating was applied on unhardened ground specimens, hardened ground specimens and hardened polished specimens.

Резюме: Матриците за шприцване под налягане използвани в производството на пластмасови компоненти са подложени на силно абразивно износване. Увеличаването на тяхната изнosoустойчивост съществено намалява производствените разходи. В настоящата работа са представени изследователски резултати за изнosoустойчивостта на матрици за шприцване под налягане изработени от стомана 1.2343, покрити с Ti/TiN/TiCN/nc-TiCN:a-C/nc-TiC:a-C/a-C. Изследването на скоростта на износване беше направено чрез използването на обемния метод и влиянието на дължината на следата беше изследвано. Дебелината на покритието, нанотвърдостта, модула на еластичност и адхезията също бяха тествани. Покритието беше приложено върху незакалени шлайфани образци, закалени шлайфани образци и закалени полирани образци.

Г_10.

D. Chaliampalias, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, K. Saltidou, Ch. Prochaska, V. Chitanov, T. Cholakova, H. Bahchedjiev, S. Sotiropoulos, D. Sazou, E. Pavlidou, E. Polychroniadis, K. Chrissafis, G. Vourlias, **“Thermal and corrosion resistance of nanocomposite gradient TiAlSiN films”**, *Journal of Thermal analysis and Calorimetry*, vol. 123, Issue 1, 1 January 2016, SPRINGER, VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311, GZ DORDRECHT, NETHERLANDS, ISSN:1388-6150, pp.169-179, DOI:10.1007/s10973-015-4961-x, 2016.

Индексира се в SCOPUS, WoS, 15 точки, JCR-IF (Web of Science): 2.471, Q3, SJR 0.415, ISI IF:2.042.

Abstract: This work aims to examine the resistance of nanocomposite TiAlSiN gradient films when exposed in high-temperature dry air and 3 % NaCl aqueous solution environments. This was mainly accomplished by thermogravimetric measurements (non-isothermal and isothermal) and potentiodynamic measurements. The thermal analysis results showed that these samples begin to oxidize at 800 °C, while over 900 °C the oxidation rate increases significantly. Isothermal measurements revealed that at 800 °C the mass gain after 12 h exposure is insignificant and at 900 °C it has very low value. Oxidations performed at higher temperatures resulted in elevated mass gain while a great percentage of the coating was transformed in oxides, which implies that the particular temperature range is out of the working limits of the material. The activation energy was also determined to be 200 kJ mol⁻¹ from the thermal analysis outcomes. Finally, the as-coated samples were found to have distinguished corrosion resistance in the salt solution compared with the bare substrates and the commonly used TiN coatings.

Резюме: Тази работа цели да изследва устойчивостта на нанокompозитните градиентни TiAlSiN слоеве, когато са поставени във високотемпературна суха среда и във 3% воден разтвор на NaCl. То главно е съпроводено от топлинни тегловни измервания (неизотермични и изотермични) и по метода на потенциалнодинамични измервания. Резултатите от термичния анализ показват, че образците започват да оксидират при 800 °C, а при температури над 900 °C скоростта на оксидиране се увеличава значително. Изотермичните измервания показват, че при 800 °C получената маса след експозиция от 12 часа е незначителна и при 900 °C тя има много ниска стойност. Оксидирания направени при по-високи температури водят до ускорено получаване на маса, докато голям процент от покритието се трансформира в оксиди което показва, че граничния температурен обхват е извън работните граници на материала. Енергията на активация също бе определена на 200 kJ mol⁻¹ от извършения термичен анализ. Накрая, за покритите образци се установи различна корозионна устойчивост в солен разтвор в сравнение с непокритите подложки и стандартно използваните покрития от TiN.

Г_11.

T. Cholakova, **V. Chitanov**, D. Chaliampalias, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, Ch. Bahchedjiev, N. Petkov, Ch. Pashinski, G. Vourlias, N. Vouroutzis, E. Polychroniadis, Y. Wang, E. Meletis, **“Study of the Structural and Mechanical Properties of Nanocrystalline TiAlSiN Gradient Coatings”**, *Journal of Nano Research*, vol. 27, issue 9 april 2014, Publisher: Trans Tech Publications Ltd., ISSN:1662-5250, pp. 15-24, <https://www.scientific.net/JNanoR.27.15>, 2014.

Индексира се в JCR-IF (Web of Science): 1.238, SCOPUS, Q3, SJR 0.192 15 точки

Abstract: A study of the structural and mechanical properties of nanocrystalline TiAlSiN gradient coatings deposited by cathodic arc deposition techniques at 500 °C and post-annealed at 525 °C is presented. Analysis of the coatings, chemical composition and microstructure revealed that the coatings have a structure based on (Ti, Al)N nanocrystals with an average size of 10 nm embedded in an amorphous Si₃N₄ phase. The study of the mechanical properties showed that post-annealing causes improvement and increase of the coatings hardness. A

maximum hardness of 48 GPa and elastic modulus of 560 GPa were measured. Also, excellent adhesion to the WC-Co substrate was observed in the post-annealed coatings.

Резюме: Представено е изучаването на структурните и механичните свойства на нанокристалните градиентни TiAlSiN покрития нанесени чрез катодно дъгово изпарение при температури от 500 °C и последващо отгряване при 525 °C. Анализът на покритията, техния химичен състав и микроструктура разкри, че покритията имат структура основаваща се на нанокристали от (Ti,Al)N със среден размер от 10 nm вградени в аморфна Si₃N₄ фаза. Изучаването на механичните свойства показва, че допълнителното отгряване води до подобряване и увеличаване на твърдостта на покритията. Максимална твърдост от 48 GPa и модул на еластичност от 560 GPa са измерени. Също, отлична адхезия към подложки от WC-Co се наблюдава при допълнително отгряните покрития.

Г_12.

V. Chitanov, T. Cholakova, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, Ch. Bahchedjiev, N. Petkov, **“Influence of thermal treatment on the mechanical properties of TiAlSiN-based coatings”**, *Journal of chemical technology and metallurgy*, vol.48, issue 6, Publisher: University of Chemical Technology and Metallurgy, ISSN:1314-7471, pp. 567-570, **2013**.
https://journal.uctm.edu/node/j2013-6/4-Chitanov_567-570.pdf

Индексира се в SCOPUS, Q3, SJR 0.19, 15 точки

Abstract: This work presents a study on the influence of the deposition and annealing temperatures on the mechanical properties of quaternary TiAlSiN-based thin films. The coatings are deposited by cathodic arc evaporation onto substrates of cemented carbide at deposition temperatures of 470° C and 500° C. A part of them is post deposition annealed at 550° C and 525° C. The investigation of the mechanical properties showed strong dependence on the thermal treatment. Highest nanohardness of 45 GPa was obtained at deposition temperature of 500°C and post-annealing at 525°C. The results from the scratch test revealed very good adhesion to the substrates as no delamination was observed, and a relatively low friction coefficient of 0.05-0.07 was obtained.

Резюме: Тази работа представя изучаването на влиянието на температурата на нанасяне и отгряване върху механичните свойства на четворните тънки слоеве от TiAlSiN. Покритията са нанесени чрез катоднодъгово изпарение върху подложки от циментиран карбид при температури на нанасяне от 470° C и 500° C. Част от тях са допълнително отгряти при температури от 550° C и 525° C. Изследването на механичните свойства показва силна зависимост от температурното третиране. По-висока нанотвърдост от 45 GPa се получава при температура на нанасяне от 500°C и последващо отгряване при 525°C. Резултатите от теста на надраскване показват много добра адхезия към подложките тъй като не се наблюдава никакво отлюспване и съответно се получава нисък коефициент на триене от 0.05-0.07.

Г_13.

L. Kolaklieva, R. Kakanakov, D. Chaliampalias, G. Vourlias, T. Cholakova, CH. Pashinski, V. Chitanov, Ch. Bahchedjiev, N. Petkov, E. Polychroniadis, „**Mechanical, Structural and Thermal Properties of Multilayered Gradient Nanocomposite Coatings**”, *Journal of Nanoresearch*, vol. 17, issue 3, 13 february 2012, Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN:1662-5250, pp.193-202, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.17.193>, 2012.

Индексира се в, WoS, JCR-IF (Web of Science):1.238, SCOPUS SJR 0.192 Q3, **15 точки**

Abstract: Multilayered, gradient TiAlSiN-based nanocomposite coatings have been developed and investigated with respect to their applicability in the machining industry. The main coating layer was composed of 5-8 nm TiN and AlN nanograins. The coating possessed hardness as high as 40 GPa, which allows it to be classified as superhard. During heating up to 900°C in air in steps of 100 °C for 6 h at each temperature, the coating showed good stability up to 700 °C. Thermal treatment over this temperature caused a decrease in the hardness to values characteristic for TiAlN multilayered coatings, while the adhesion to the substrate remained steady.

Резюме: Многослойни градиентни TiAlSiN-базирани нанокомпозитни покрития са разработени и изследвани съобразно тяхното приложение в индустрията на машинната обработка. Основният слой на покритието е съставен от нанозърна от TiN и AlN с размер от 5-8 nm. Покритието притежава твърдост с големина 40 GPa, което позволява то да се класифицира, като свръхтвърдо. По време на отгряване до 900 °C на въздух през стъпки от 100 °C за 6 часа на всяка температура, покритието показва добра стабилност до 700 °C. Топлинна обработка над тази температура причинява намаляване на твърдостта до стойности характерни за многослойните TiAlN покрития, докато адхезията към подложката остава стабилна.

Г_14.

L. Kolaklieva, V. Chitanov, R. Kakanakov, S. Russev, K. Balashev, **Dependence of the electrical and morphological properties on the Ti and Al content in Mo-based ohmic contacts for III-V nitrides**, *Proc. of 28th International Conference on Microelectronics*, Nis, Serbia, 13-16 May, 2012, Electronic ISBN: 978-1-4673-0238-8, Print ISBN: 978-1-4673-0237-1, pp. 287-290, DOI: 10.1109/MIEL.2012.6222856, 2012.

Индексира се в SCOPUS, WoS, SJR 0.145, **10 точки**

Abstract: Four types of Mo-based ohmic contacts with a varied Al and Ti content are developed and investigated regarding the ohmic properties, surface morphology and edge acuity. It is found out that the Ti/Mo/Ti/Au metallization combines the lowest contact resistivity of $8.8 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ and low surface roughness of 3.8 nm. The presence of Al in the contact composition does not improve the electrical properties and the surface morphology. Its effect on these properties depends strongly on the Ti/Al ratio in the contact composition.

Резюме: Четири вида базирани на Мо омови контакти с различно съдържание на Al и Ti са разработени и изследвани съобразно омовите свойства, повърхностната морфология и острота на ръба. Установи се, че метализацията от типа Ti/Mo/Ti/Au комбинира най-ниското контактно съпротивление от $8.8 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ и най-ниската повърхностна грапавост от 3.8 nm. Наличието на Al в състава на контакта не подобрява електричните свойства и морфологията на повърхността. Неговото влияние върху тези свойства силно зависи от съотношението Ti/Al в състава на контакта.

Г_15.

L. Kolaklieva, V. Chitanov, R. Kakanakov, “Al-free Nanolayered Metalization Systems for Sub micron HEMTs”, *Journal of Nanoresearch*, vol. 17, 3 february 2012, Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN:1662-5250, pp. 203-210, 2012, <https://www.scientific.net/JNanoR.17.203>.

Индексира се в SCOPUS SJR 0.192 Q3, WoS JCR-IF (Web of Science):1.238, **15 точки**

Abstract: Al-free nanolayered metallizations based on the transition metals Ti, Mo, Ni and Pd, with varied Ti content, have been developed as an alternative of the Al-based contacts for sub-micron HEMTs. The electrical, morphological and thermal properties of the metallization schemes have been studied with the aim of obtaining the most suitable combination of low resistivity, a smooth surface and an acute edge. The lowest resistivity of $8.8 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ has been determined with the Ti/Mo/Ti/Au contact, while the lowest surface roughness of 6 nm has been measured for the Ti/Ni/Ti/Au metallization. These contact schemes have shown much better edge acuity in comparison to the Al-based metallizations.

Резюме: Без съдържание на Al наноструктурирани метализации базирани на преходните метали Ti, Mo, Ni и Pd с различно съдържание на Ti, бяха разработени, като алтернатива на базираните на Al контакти за субмикронни HEMTs. Електричните, морфологичните и термичните свойства на схемите на метализация бяха изучени с цел на получаване на най-подходящата комбинация от ниско съпротивление, гладка повърхност и остър ръб. Най-ниското съпротивление от $8.8 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ беше определено за контакта Ti/Mo/Ti/Au, докато най-ниската повърхностна грапавост от 6 nm беше измерена за метализацията Ti/Ni/Ti/Au. Тези конфигурации на контакти показаха много по-добра острота на ръчетата в сравнение с базираните на Al метализации.

Г_16

Y. Todorov, S. Ahmed, M. Petrov, V. Chitanov, “Implementations of a Hammerstein Fuzzy-Neural Model for Predictive Control of a Lyophilization Plant”, *In Proceedings of the 6-th IEEE Conference on “Intelligent Systems”*, vol. II, Article number 6335154, 6th IEEE International Conference Intelligent Systems, IS, 6-8 September, 2012, Sofia, Bulgaria, ISSN: 1541-1672, pp. 315-319, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6335154>, 2012.

Индексира се в SCOPUS SJR 0.2, 10 точки

Abstract: This paper describes two methodologies for implementation of Hammerstein model by using different input-output representations into model predictive control schemes. The model nonlinearity is easily approximated using a simple Takagi-Sugeno inference, while the linear parts are flexibly introduced. As optimization procedures for predictive control are used a standard gradient optimization method and an implementation of Hildreth Quadratic Programming. A comparison between the proposed control strategies is made by simulation experiments for control of nonlinear lyophilization plant.

Резюме: Тази публикация описва две методологии за приложението на модел на Хамерщайн чрез използването на различни входно-изходни представяния в схеми за моделно предсказващо управление. Моделът на нелинейност лесно се апроксимира чрез използването на опростено Такаги-Сугено включване, докато линейните части са гъвкаво добавени. Като процедура за оптимизация за предсказващо управление са използвани стандартни градиентни оптимизационни методи и включването на Хилдъртово квадратично програмиране. Сравнение между предложените стратегии за управление е направено чрез симулационни експерименти за управление на нелинеен лиофизионен процес.

Г_17.

L. Kolaklieva, R. Kakanakov, **V. Chitanov**, P. Dulgerova, V. Cimalla, “**Search for Suitable Ohmic Metallization Scheme to GaN/AlGaN Heterostructures for Sub-micron Devices**”, *Solid State Phenomena*, vol. 159, Trans Tech Publications, Switzerland, 2nd International Conference on Nanostructured Materials, Thin Films and Hard Coatings for Advanced Applications, NANO HARD, Sozopol, Bulgaria; 24-27 May 2009, pp. 81-86, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.159.81>, **2010**.

Индексира се в SCOPUS, SJR 0.197, Q3, WoS, 15 точки

Abstract: Ohmic properties, thermal stability and surface morphology of Al-based and non-aluminium metallizations are investigated in dependence on the annealing temperature and initial composition. Non-aluminium contacts show poor ohmic properties, while contact resistivity of $3.47 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ is achieved for Ti/Al/Ti/Au metallization with a former-Ti/Al ratio of (30 wt.% /70 wt.%). Thermal properties of the Al-based metallization are improved by application of Mo layer as a barrier under the upper Au film of the contact structure. These contacts show excellent thermal stability at operating temperatures as high as 400 °C. The less Al amount in the contact composition and Mo barrier layer contribute to the smoother surface and better edge acuity.

Резюме: Омови свойства, термична стабилност и повърхностна морфология на базирани на Al и несъдържащи Al метализации са изследвани в зависимост от температурата на отгряване и началния състав. Несъдържащите Al контакти показват слаби омови свойства, докато за метализацията от Ti/Al/Ti/Au е постигнато специфично електрическо съпротивление от $3.47 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$. Термичните свойства на базираните на Al метализации са подобрени чрез прилагането на слой Mo, като бариерен слой под горния слой от Au в контактната структура. Тези контакти показват отлична термична

стабилност при работни температури достигащи до 400 °C. По-малкото съдържание на Al в състава на контакта и бариерния слой от Mo допринасят за гладката повърхност и добрата острота на ръба.

Г_18.

A. Parshuto, **V. Chitanov**, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, “**Mathematical modeling the power supply-load system for electro-discharge polishing process**”, *Solid State Phenomena*, vol. 159, Trans Tech Publications, ISSN:1012-0394, Switzerland, 2nd International Conference on Nanostructured Materials, Thin Films and Hard Coatings for Advanced Applications, NANO HARD, Sozopol, Bulgaria, 24-27 May 2009, pp. 125-128, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.159.125>, 2010.

Индексира се в SCOPUS, SJR 0.197, Q3, WoS, **15 точки**

Abstract: The real electro-discharge polishing (EDP) system has been presented by an equivalent electrical scheme and described by a corresponded equation system. The Runge-Kutta-Merson method with automatically changed step is used for the numerical solution the equation system. The current through the resistor equivalent to the steam gas wrapper is defined with an I-V characteristic obtained by the method of multi-interval quadratic interpolation-approximation. A mathematical model of the power supply-load system has been realized in Basic and Matlab® languages. On the base of the developed modelling conditions limiting the current and voltage overload in the EDP system have been determined depending on the maximum polished area and the electrolyte temperature.

Резюме: Система за реално електроразрядно полиране (EDP) беше представена чрез еквивалентна електрическа схема и описана чрез съответната система от уравнения. Метода на Рунге-Кута-Мерсон с автоматично променяща се стъпка се използва за числено решение на системата от уравнения. Токът през еквивалентния резистор на обвивката от парния газ се определя чрез I-V характеристика получена по метода на многоинтервалното квадратично интерполиращо апроксимиране. Математически модел на мощността на захранващата с товара система е реализиран в езиците Basic и Матлаб®. На базата на разработените условия за моделиране бяха определени тока и напрежението в системата за EDP ограничаващи претоварване на системата и тяхната зависимост от максималната площ на полиране и температурата на електролита.

Г_19.

V. Chitanov, M. Petrov, “**Multivariable Fuzzy-Neural Model of Polymer Process**”, *Chemical Product and Process Modeling*, The Berkeley Electronic Press, vol. 4, Issue. 1, Article 10, 5 january 2009, Publisher: Walter de Gruyter, E-ISSN:1934-2659, <https://doi.org/10.2202/1934-2659.1204>, 2009.

Индексира се в Scopus SJR 0.211, Q2, WoS, **20 точки**

Abstract: Obtaining an accurate and comprehensive multivariable mathematical model of the polymerization processes is of strategic importance to the control engineering purposes in the polymerization industry. These processes are typically nonlinear and it is difficult to apply traditional estimation techniques. This paper describes an approach based upon multivariable fuzzy-neural representation of the process model. A concrete model is constructed with the Sugeno fuzzy inference technique by applying the state space implementation in the local fuzzy rules for modeling the dynamic behavior of the polymer process. Such multivariable fuzzy-neural models of polymer quality could be used successfully for optimization and control of polymerization processes. A short example for such an implementation is included with additional results for the modeling of the main characteristic parameters of the polymer process.

Резюме: Получаването на точен и пълен многомерен математически модел на полимеризационен процес е от стратегическа важност за целите на контрола при полимеризационната индустрия. Тези свойства са типично нелинейни и е трудно да се приложат традиционните техники на оценка. Тази статия описва подход базиращ се на модел на процеса с размито-невронна презентация с много променливи. Конкретен модел е съставен със Сугено дедукционна техника чрез прилагането на представяне в пространство на състоянието в локалните размити правила за моделиране на динамиката на полимеризационен процес. Такива многомерни невротно-размити модели за качеството на полимерите могат да се използват успешно за оптимизацията и управлението на полимеризационни процеси. Кратък пример за такова приложение е включен с допълнителни резултати от моделирането на основните характерни параметри на полимеризационен процес.

Г_20.

V. Chitanov, E. Zlatareva, L. Kolaklieva, R. Kakanakov, T. Cholakova, S. Kolchev, C. Pashinski, “Elastic-plastic properties of hard Cr-based nitride coatings deposited at temperatures below 200 °C”, Tribology in industry, vol. 45, no. 2, ISSN:0354-8996, www.tribology.rs, pp. 340-350, DOI: 10.24874/ti.1460.03.23.05.

Списанието се индексира в Scopus, SJR 0.315, Q3, 15 точки

Abstract: Sets of Cr-based hard coatings were prepared via reactive closed field unbalanced magnetron sputtering (CFUBMS). Substrate temperature was kept in range of 150 to 200 °C during deposition. Nanohardness (H) and effective modulus of elasticity (E^*) of the coatings were examined, using depth-sensing indentation method. In order to present the mechanical properties and predict the tribological behaviour of the prepared coatings ratios H/E^* (elasticity index), H^3/E^{*2} (resistance to plastic deformation) and $1/(HE^{*2})$ (resistance to crack formation) were calculated and analysed. The results from the combined examination of the research ratios showed that they could be used for classification of the expected wear-resistant properties of Cr-based hard coatings deposited at temperature below 200 °C.

Резюме: Серия хром базирани твърди покрития са подготвени чрез реактивно магнетронно разпръскване в затворено магнитно поле (CFUBMS). Температурата на подложката се поддържа в диапазона от 150 до 200 °C по време на нанасяне.

Нанотвърдостта (H) и ефективния модул на еластичност (E^*) на покритията бяха изследвани използвайки метода за индентирание с отчитане на дълбочината. За да може да се представят механичните свойства и да се предскаже трибологичното поведение на приготвените покрития са изчислени и анализирани съотношенията H/E^* (еластичен индекс), H^3/E^{*2} (устойчивост към пластична деформация) и $1/(HE^{*2})$ (устойчивост към формирането на нарушения). Резултатите от комбинираното изучаване на изследваните съотношения показва, че те могат да се използват за класификацията на очакваните свойства за износоустойчивост на хром базираните твърди покрития нанесени при температури под 200 °C.