

Списък

на резюметата на рецензираните публикации на доц. д-р инж. Ангел Петров Anchev представени за участие в конкурс за „професор“ в област на висше образование - 5.Технически науки, професионално направление - 5.6. Материали и Материалознание, специалност - Материалознание и технология на машиностроителните материали

- 1.B.1. Duncheva, G.V., Maximov, J.T., **Anchev, A.P.**, Dunchev V. P., Argirov Y. B. Multi-objective optimization of the internal diamond burnishing process. *Materials and Manufacturing Processes*. 37 (4) (2022) 428-436. <https://doi.org/10.1080/10426914.2021.1981937>

В статията е представена нова еднооперационна двупреходна технология за обработка на отвори във втулки на плъзгащи лагери от бронз CuAl8Fe3. Технологията е реализирана на вертикален машинен център Haas MiniMill. По време на първия преход отворът обработен чрез специален комбиниран режещ инструмент и след това е посредством нов инструмент с еластична греда е подложен на ДЗ. Деформиращият елемент е поликристален диамант със сферичен край. 2D и 3D параметри на повърхностната текстура на обработените отвори, са измерени след първия и втория преход. Посредством едноцелева оптимизация след първия преход са намерени оптималните стойности на технологичните параметри подаване и скорост на рязане по критерий минимална грапавост. Оптималните управляващи фактори (радиус на върха на диаманта, сила на притискане и подаване) на процеса ДЗ са определени чрез многоцелева оптимизация. Целевите функции – микротвърдост, височинни параметри и параметри на формата на повърхностната текстура – са избрани в съответствие с изискванията за качество на обработваните отвори: подобрени условия на смазване и повишена микротвърдост. Формулираната задача за многоцелева оптимизация е решена чрез генетичен алгоритъм за недоминирано сортиране (NSGA-II). Експерименталните проверки потвърдиха резултатите. Обработката на серия отвори показва, че новата технология осигурява добра повторемост на характеристиките на surface integrity.

The paper presents a new single-operation two-transition technology for processing holes in sliding bearing bushings made of CuAl8Fe3 bronze. The technology was realized on a vertical machine center Haas MiniMill. During the first transition, the hole was formed by a new combined cutting tool and was then diamond burnished via a new device with an elastic beam providing the burning force. The deforming element was a spherical-ended polycrystalline diamond. The 2D and 3D surface texture parameters of the processed holes obtained after the first and second transitions were studied via experiments and regression analyses. Through one-objective optimization of the first transition, the optimal feed and cutting velocity values were found under a minimum roughness criterion. The optimal governing factors (diamond insert radius, burnishing force and feed rate) of the diamond burnishing process were determined through multi-objective optimization. The objective functions – micro-hardness and height and shape parameters of the surface texture – were selected in terms of processed hole requirements: improved lubrication conditions and increased micro-hardness. The formulated multi-objective optimization task was solved via non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). Experimental verifications confirmed the results. The processing series of holes showed that the new technology ensures good repeatability of the surface integrity characteristics.

- 1.B.2. Duncheva, G.V., Maximov, J.T., **Anchev, A.P.**, Dunchev V. P., Argirov Y. B. Improvement in Wear Resistance Performance of CuAl8Fe3 Single-Phase Aluminum Bronze via Slide Diamond Burnishing. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 31 (2022) 2466–2478. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06389-6>

Еднофазният алуминиев бронз CuAl8Fe3 е предпочитан материал за много приложения, изискващи добра якост, висока устойчивост на корозия и износване. Поради по-ниското съдържание на алуминий (под 8,5%), тази сплав не може да бъде подлагана на термична обработка. Ефектът от диамантното заглаждане (ДЗ) върху износоустойчивостта на този бронз е изследвана чрез тестове за износване в условия на сухо и гранично триене. Тестовите са проведени върху три групи образци, всяка от които е подложена на различен довършителен процес: фино струговане, ДЗ с един преход и ДЗ с шест прехода. ДЗ образец с шест прехода показва 5.1 пъти по-висока износоустойчивост в условия на гранично триене в сравнение с образец обработен чрез фино струговане. ДЗ образец с един преход показва 1,75 пъти по-висока износоустойчивост в условия на сухо триене, в сравнение с образец обработен чрез фино струговане. Установено е, че геометричните характеристики на повърхностната текстура са доминиращи при условия на гранично триене. Обратно, физико-механичните характеристики на повърхностния слой доминират, когато износването се осъществява в условията на сухо триене. Установено е, че в допълнение към известните положителни ефекти, ДЗ осигурява подходяща повърхностна текстура за подобряване на смазването между контактните повърхности.

Single-phase CuAl8Fe3 aluminum bronze is preferred material for many applications requiring good strength and high corrosion and wear resistance. Due to its lower aluminum content (below 8.5%), this alloy cannot be subjected to heat treatment. The effect of diamond burnishing (DB) on wear resistance performance of this bronze was studied via wear tests under boundary lubrication and dry friction conditions. Three groups of specimens were tested, each subjected to different finishing process: fine turning, DB with one pass and DB with six passes. The DB process with six passes provided the highest wear resistance under the condition of boundary lubrication friction and increased the wear resistance 5.1 times more than fine turning. DB with one pass resulted in the highest wear resistance under the dry friction condition and increased the wear resistance 1.75 times more than fine turning. It was established that the geometrical characteristics of surface texture are dominant under the condition of boundary lubrication friction. Conversely, the physical-mechanical characteristics of the surface layer dominate when the wear is under condition of dry friction. It was found that in addition to the known positive effects, DB provides suitable surface texture to improve the lubrication between the contact surfaces.

1.B.3. Duncheva, G.V., Maximov J.T., **Anchev A.P.**, Dunchev VP., Argirov YJ, Ganev N, Capek J. Fatigue strength improvement in CuAl8Fe3 bronze via diamond burnishing. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 43 569 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03296-8>

Целта на това изследване е да се повиши якостта на умора на еднофазен алуминиев бронз CuAl8Fe3 чрез ППД. Бронзът CuAl8Fe3 притежава уникална комбинация от механични и химични свойства: добра якост, отлична електрохимична и обща устойчивост на корозия, висока пластичност и износоустойчивост. Поради ниското съдържание на алуминий (под 8,5%), този алуминиев бронз не може да бъде термично обработен. Увеличаването на якостта на умора е постигнато чрез диамантно заглаждане (ДЗ). Количествената оценка на уморното поведение на алуминиев бронз е направена чрез провеждането на тестове на умора с образци подложени на въртеливо огъване. Оценката за подобряването на якостта на умора на образци подложени на ДЗ е направена на базата на S-N крива, получена от тестовите на умора на образци обработени само чрез фино струговане. При ДЗ на образци с един преход, якостта на умора се увеличава между 12 и 13%, като максималната стойност се постига в началото на многоцикловата умора. С увеличаване броя на преходите се увеличава значително якостта на умора между 16,6 и 24,4%. Положителният ефект на ДЗ върху поведението на умора се дължи на подобрените параметри на Surface integrity - подходяща текстура на повърхността, повишена микротвърдост, полезни остатъчни напрежения на натиск и издребняване на зърната в повърхностните и подповърхностните слоеве.

The purpose of this study was to increase the fatigue strength of single-phase CuAl8Fe3 aluminum bronze via surface cold work. CuAl8Fe3 bronze possesses a unique combination of mechanical and chemical properties: good strength, excellent electro-chemical and general corrosion resistance, high ductility and wear resistance. However, due to its low aluminum content (below 8.5%), this bronze cannot be heat treated. Thus, the fatigue strength increase was achieved via diamond burnishing (DB). The quantification of the fatigue behavior of this bronze was achieved through rotating bending fatigue tests. The assessment of the fatigue strength improvement (FSI) due to DB was made on the basis of the S–N curve obtained from fatigue tests of samples processed by fine turning. FSI due to single-pass DB fluctuates between 12 and 13%, with the maximum value achieved at the beginning of the megacycle fatigue field. The increase in the number of passes leads to a significant increase in FSI of between 16.6 and 24.4%. Since a direct correlation exists between the surface integrity (SI) and fatigue behavior, the positive effect of DB on FSI is explained by the improved SI—appropriate surface texture, increased micro-hardness, useful compressive residual stresses and grain refinement in the microstructure of the surface and sub-surface layers.

1.B.4. Duncheva, G.V., Maximov J.T., **Anchev A.P.**, Dunchev VP., Argirov YJ, Ganev N, Drumeva D. Improvement in surface integrity of CuAl8Fe3 bronze via diamond burnishing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 119 (2022) 5885–5902. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08664-9>.

Еднофазният алуминиев бронз CuAl8Fe3 притежават добра якост и устойчивост на умора, както и висока устойчивост на корозия и износване. Тъй като тази сплав съдържа по-малко от 8,5% алуминий, тя не може да бъде термично обработена. Следователно подобрения в параметрите на Surface integrity (SI) могат да бъдат постигнати само чрез ППД. Тази статия изследва влиянието на процеса диамантно заглаждане (ДЗ), както и влиянието на допълнителни технологични параметри, върху характеристиките на SI на алуминиев бронз CuAl8Fe3. С помощта на експерименти и регресионни анализи е проведена многоцелева оптимизация на процеса на ДЗ чрез генетичен алгоритъм за недоминирано сортиране (NSGA-II) и са установени оптимални стойности на факторите. Посредством получените стойности на технологичните параметри са обработени чрез ДЗ образци от алуминиев бронз CuAl8Fe3 са количествено определени характеристиките на SI. Стигна се до заключението, че ДЗ върху образци от алуминиев бронз CuAl8Fe3 може да се приложи като mixed burnishing, т.е. ДЗ води до благоприятна комбинация от височинни параметри и параметри формата на повърхностната текстурата, много ниска грапавост (почти огледални повърхности), големи (по абсолютна стойност) остатъчни окръжни и осови напрежения на дълбочина по-голяма от 0,8 mm, висока повърхностна микротвърдост и силно изразена промяна в микроструктурата на дълбочина до 0,15 mm. Тези характеристики на SI предполагат значително увеличение на якостта на умора и износоустойчивостта на образци от алуминиев бронз CuAl8Fe3, обработени посредством ДЗ.

The single-phase CuAl8Fe3 aluminum bronzes possess good strength and resistance to fatigue as well as high corrosion and wear resistance. Since this alloy contains less than 8.5% aluminum, it cannot be heat treated. Therefore, improvements in surface integrity (SI) can only be achieved via mechanical surface treatment. This article investigates the influence of the basic diamond burnishing (DB) process, as well as additional factors, on the SI characteristics of CuAl8Fe3 bronze. Using experiments and regression analyses, a multi-objective optimization of the DB process has been accomplished via non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) and optimal values of the factors have been established. Using these factor values, the SI characteristics of diamond burnished CuAl8Fe3 specimens have been quantified. The conclusion has been reached that the DB of CuAl8Fe3 bronze can be implemented as mixed burnishing, i.e., DB results in a favorable combination of the height and shape parameters for the surface texture, very low roughness (nearly mirror surfaces), large (in absolute value) residual hoop and axial stresses at depths greater than 0.8 mm, high surface micro-hardness and strongly expressed grain-refined microstructures at depths of up to 0.15 mm. These SI characteristics suggest a significant increase in fatigue strength and wear resistance of CuAl8Fe3 bronze finished via DB.

- 1.B.5. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., **Anchev A.P.**, V.P.Dunchev, J. Capek. A cost-effective optimization approach for improving the fatigue strength of diamond-burnished steel components. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 43 (1) (2021) 1-13. ISSN 1678-5878. DOI 10.1007/s40430-020-02723-6.

Диамантното заглаждане е метод за модифициране на повърхността, насочен към подобряване на Surface Integrity (SI) и експлоатационното поведение на конструкционни елементи. Разработен е рентабилен оптимизационен подход за увеличаване на якостта на умора на образци от стомана обработени посредством диамантно заглаждане. Основната идея е, че якостта на умора може да се контролира чрез контролиране на някои от характеристиките на SI (повърхностна микротвърдост, дълбочина на уякчения слой и грапавост), чиито измерване не отнема време и са относително евтини за определяне. Поставена е и е решена многоцелева оптимизационна задача с помощта на метода на вектора на теглото. Управляващите фактори са радиусът на диаманта и силата на притискане. Получената граница на умора се различава от максималната граница на умора само с 0,44%, което доказва ефективността на предложения подход. Получените резултати за границата на умора са обяснени с помощта на X-ray analysis на въведените остатъчни напрежения и анализ на микроструктурата на повърхностния и подповърхностните слоеве. Установено е, че по-голямата дълбочина на афектираната зона, съчетана с по-малък градиент в изменението на микроструктурата в дълбочина, осигурява по-голяма якост на умора.

Diamond burnishing is a surface modification method aimed at improvements in the surface integrity (SI) and operating behavior of metal components. A cost-effective optimization approach for increasing the fatigue strength of diamond burnished steel components has been developed. The basic idea is that the fatigue strength can be controlled by controlling some of the SI characteristics (surface micro-hardness, hardened-layer depth and roughness) whose measurements are not time-consuming and expensive. Thus, a multi-objective optimization task was set and solved using the weight vector method. The governing factors were the diamond radius and burnishing force. The resulting fatigue limit differed from the maximum fatigue limit by a mere 0.44%, which proves the effectiveness of the proposed approach. The results obtained for the fatigue limit are explained by means of an X-ray analysis of the introduced residual stresses and an analysis of the microstructures of the surface and subsurface layers. It has been established that a greater depth of the affected zone coupled with a smaller gradient in the alteration of the microstructure in depth provides larger fatigue strength.

- 1.B.6. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., **Anchev A.P.**, V.P.Dunchev. Slide burnishing versus deep rolling — a comparative analysis. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 110. (2020) .1923-1939. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05950-2>

Статията представя резултати от сравнителен анализ, включващ три статични процеса реализиращи burnishing методи: диамантно заглаждане (ДЗ), заглаждане с ролка (RB) и deep rolling (DR). Обработваният материал е стомана 41Cr4. Използваните методи за изследване са напълно свързан термомеханичен KE анализ и натурни експерименти. Изследването е проведено при едни и същи стойности на управляващите фактори, като основната разлика между сравняваните процеси е типът на контакт между деформиращия елемент и повърхността, която се обработва - триене при плъзгане за ДЗ и контакт триене при търкаляне за RB и DR. ДЗ бе реализирано с поликристален диамант със сферичен край, докато RB и DR са реализирани с помощта на тороидална ролка със същата големина на радиуса на тороидалната повърхност, както тази на радиуса на деформиращия диамант. Обектите на сравнение са сами по себе си процеси и се отчитаха промени в състоянията на термодинамичните системи, както и в получените surface integrities (SIs) на обработваните образци и тяхното уморно поведение.

Установено бе, че три четвърти от приложената работа при ДЗ се превръща в топлина в зоната на контакт „деформиращ елемент – детайл“, което води до разякчаване на повърхностните слоеве. Сравнението на енергийните баланси при изследваните процеси ясно показва термомеханичния характер на процеса ДЗ, докато процесите RB и DR могат да се приемат за чисто механични. От друга страна, ДЗ осигурява по-малка грапавост, значително по-голяма микротвърдост, по-големи в по абсолютни стойности остатъчни напрежения на натиск, по-фина микроструктура и в резултат на това по-голяма якост на умора в сравнение с RB и DR.

This article presents outcomes from a comparative analysis involving three static burnishing processes: slide burnishing (SB), roller burnishing (RB), and deep rolling (DR). The treated material was 41Cr4 steel. The investigative methods used were fully coupled thermal-stress finite element (FE) simulations and natural experiments. Using one and the same magnitudes for the governing factors, the basic difference among the compared processes was the type of contact between the deforming element and the surface being burnished—sliding friction for SB and rolling contact for RB and DR. SB was implemented with a spherical-ended polycrystalline diamond whereas RB and DR were conducted using a single toroidal roller with the same magnitude for the radius of the toroid surface as that for the radius of the deforming diamond. The objects of comparison were in themselves processes and considered to be alterations in the thermodynamic systems' states, as were the obtained surface integrities (SIs) of the treated specimens and their fatigue behaviors. It was established that three-quarters of the external work in SB converts into heat in the “deforming element–workpiece” contact area, which leads to the so-called softening effect in the surface layers. The comparison of the energy balances of the investigated processes clearly demonstrates the thermo-mechanical nature of the SB process, whereas the deforming processes in the RB and DR can be assumed to be purely mechanical. On the other hand, SB provides less roughness, significantly greater micro-hardness, larger-in-absolute-values compressive residual stresses, a more refined microstructure and, as a result, greater fatigue strength compared with RB and DR.

1.B.7. Maximov J., Duncheva G., **Anchev A.**, Dunchev V., Argirov Y. Effect of Diamond Burnishing on Fatigue Behaviour of AISI 304 Chromium-Nickel Austenitic Stainless Steel. (2022) *Materials*, 15 (14), DOI: 10.3390/ma15144768. Open Access

Недостатъците на широко използваните аустенитни неръждаеми стомани са тяхната ниска твърдост и относително ниска якост на умора. Конвенционалните химико-термични повърхостни обработки са неподходящи за тези стомани, тъй като се създават условия за междукристална корозия. Ефективна алтернатива е нискотемпературна повърхостна обработка, създаваща S-фаза в повърхостния слой, но при нея има високо съотношение цена/качество. Аустенитните стомани могат да увеличат своята повърхостна микротвърдост и якост на умора чрез повърхостна пластична деформация. Когато целта е да се увеличи якостта на умора на конструкционни елементи подложени на въртеливо огъване от аустенитни хром-никелови стомани и изискванията за значителна износоустойчивост не са от първостепенно значение, диамантното заглаждане (ДЗ) има значителен потенциал за увеличаване на якостта на умора и въз основа на добро съотношение цена/качество, може успешно да се конкурира с нискотемпературните химико-термични обработки. Основната цел на това изследване е да се установи ефектът на ДЗ върху якостта на умора на образци от хром-никелова аустенитна стомана AISI 304 L подложени на въртеливо огъване. Изследвано е влиянието на параметрите на ДЗ върху характеристиките на Surface integrity (SI). Получени са оптималните стойности на параметрите на процеса ДЗ за получаване на минимална грапавост и максимална микротвърдост. Извършени са изпитвания на умора на образци обработени чрез с параметри осигуряващи максимална микро-твърдост и обработени само чрез рязане и е установено, че границата на умора се повишава с 38% в сравнение с необработените образци.

The disadvantages of widely used austenitic stainless steels are their low hardness and relatively low fatigue strength. Conventional chemical-thermal surface treatments are unsuitable for these steels since they create conditions for inter-granular corrosion. An effective alternative is a low-temperature surface treatment, creating an S-phase within the surface layer, but it has a high cost/quality ratio.

Austenitic steels can increase their surface micro-hardness and fatigue strength via surface cold working. When the goal is to increase the rotating bending fatigue strength of austenitic chromium-nickel steels, and the requirements for significant wear resistance are not paramount, diamond burnishing (DB) has significant potential to increase the fatigue strength and, based on the cost/quality ratio, can successfully compete with low-temperature chemical-thermal treatments. The main objective of this study is to establish the effect of DB on the rotating fatigue strength of AISI 304 L chromium-nickel austenitic steel. The influence of DB parameters on the surface integrity (SI) characteristics was studied. Optimal DB parameters under minimum roughness and maximum micro-hardness criteria were obtained. Rotating bending fatigue tests of the diamond burnished (in a different manner) and untreated specimens were performed. DB implemented via parameters providing maximum micro-hardness increased fatigue limit by 38% compared to untreated specimens.

1.B.8. Maximov JT, Duncheva GV, **Anchev A.P.**, Ganev N, Dunchev VP. Effect of cyclic hardening on fatigue performance of slide burnished components made of low-alloy medium carbon steel. *Fatigue and Fracture Engineering Materials and Structure*. 42 2019, 1414– 1425. DOI: 10.1111/ffe.13001. ISSN: 1460-2695.

Процесът ДЗ предизвиква циклично натоварване на обработваната повърхност, което провокира циклично уякчаване. Посредством тест на проникване с контролирана сила е установено, че стабилизираният цикъл е достигнат при шестия цикъл на натоварване и разтоварване. Изследван ефектът от броя на преходите и коефициента на циклично натоварване (КЦН) върху уморното поведение на образци обработени чрез ДЗ. Проведени са уморни тестове посредством въртеливо огъване на девет групи образци с форма на пясъчен часовник, които са диамантно загладени чрез различен брой преходи и КЦН. Стабилизираният цикъл на повърхностния слой, постигнат с шест преминавания, води до най-голямата граница на умора, докато КЦН оказва незначително влияние върху характеристиките на умора. Наблюдаваното явление се обяснява с различни скорости на релаксация на остатъчните напрежения, дължащи се на натоварване от въртеливото огъване, както и с получената микроструктура на повърхностния слой. Релаксацията на остатъчните напрежения е изследвана чрез уморни тестове на въртеливо огъване, върху образци обработени посредством ДЗ и последващ X-ray diffraction анализ.

The slide burnishing process causes cyclic loading of the surface being treated, which provokes cyclic hardening. Using a forced-controlled indentation test, the sixth “loading-unloading” cycle was stabilised. The effect of the number of passes and the cyclic loading coefficient (CLC) on the fatigue performance of slide burnished specimens was investigated. Rotating bending fatigue tests were conducted using nine groups of hourglass shaped specimens, which were slide burnished through a different number of passes and CLC values. A stabilised cycle of the surface layer achieved with six passes, lead to largest fatigue limit, whereas the CLC exerted negligible influence on the fatigue performance. The observed phenomenon was explained through different residual stress relaxation rates, due to the rotating bending load, as well as with the obtained surface layer microstructure. The residual stress relaxation was investigated through rotating bending fatigue tests, using cylindrical fatigue specimens, followed by X-ray stress analysis.

1.B.9. Maximov JT, Duncheva GV, **Anchev A.P.** A Temperature-Dependent, Nonlinear Kinematic/Isotropic Hardening Material Constitutive Model of the Surface Layer of 37Cr4 Steel Subjected to Slide Burnishing. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 44 (2019) 5851-5862. DOI <https://doi.org/10.1007/s13369>. ISSN 2191-4281 IF 1.092

Диамантното заглаждане (ДЗ) е прост и ефективен метод за довършващо обработване на цилиндрични детайли. Термомеханичната природа на ДЗ не е изследвана в литературата и сле-

дователно е обект на изследване в тази статия. Използва се комбинация от КЕ анализи и експеримент за дефинирането на конститутивния модел на материала на повърхностния слой на образци подложени на ДЗ. Температурно зависим, нелинеен кинематичен/изотропен конститутивен модел на уякчаване на материала на повърхностния слой от стомана 37Cr4 е моделиран на базата на температурно зависими тестове на проникване и инверсни КЕ анализи. За да се илюстрират предимствата на този термомеханичен конститутивен модел, са проведени 3D КЕ симулации на отвори подложени на ДЗ; това установява ефекта на генерираната температура върху разпределението на полето на остатъчните окръжни напрежения около обработения отвор. Проведен е напълно свързан термомеханичен анализ с последващ температурно независим КЕ анализ за определяне на остатъчните окръжни напрежения. Алтернативно, тези напрежения бяха получени експериментално чрез модифицирания метод на „разцепен пръстен“. Доказано е, че последователно свързания термомеханичен КЕ анализ с нелинейно кинематично/изотропно уякчаване предсказва остатъчните окръжни напрежения по такъв начин, че да бъде в постигнато задоволително съответствие с експерименталните резултати. Установено е, че генерираната температура намалява благоприятния ефект от въведените остатъчни напрежения, като по този начин намалява дълготрайността на умора на съответния конструкционен елемент.

Slide burnishing (SB) is a simple and efficient method for finishing symmetric rotary metal parts. The thermo-mechanical nature of SB has not been studied in the literature and is, therefore, an object of investigation in this article. A combination of finite element method (FEM) analyses and experiments is used, and a very important part of building the FEM model is the constitutive model of the surface layer of the workpiece being slide burnished. A temperature-dependent, nonlinear kinematic/isotropic hardening material constitutive model of the surface layer of 37Cr4 steel has been modelled on the basis of temperature-dependent indentation tests and inverse FEM analyses. In order to illustrate the benefits of this thermomechanical constitutive model, 3D FEM simulations of the SB of holes have been conducted; doing so establishes the effect of the generated temperature on the residual hoop stress distribution around the processed hole. Fully coupled thermal stress, sequentially coupled, and temperature-independent FEM simulations have been conducted to determine the residual hoop stresses. Alternatively, these stresses are experimentally obtained through the modified “split ring” method. It has been proven that a sequentially coupled thermal stress FEM simulation with nonlinear kinematic/isotropic hardening predicts the residual hoop stresses in such a manner as to be in satisfactory agreement with the experimental outcomes. It has been established that the generated temperature reduces the beneficial effect from the introduced residual stresses, thus reducing the fatigue life of the corresponding structural component.

1.B.10. Maximov J. T., G. V. Duncheva, **A. P. Anchev**, M. D. Ichkova. Slide burnishing—review and prospects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 104 (2019) 785-801. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03881-1>. ISSN 0268-3768.

Статията представя обзор посветен на диамантното заглаждане (ДЗ) на конструкционни елементи. ДЗ принадлежи към групата на статичните методи за механична повърхностна обработка, използвани предимно в космическата, автомобилната и други индустрии. Посредством пластичната деформация на повърхностните слоеве се подобрява значително Surface integrity (SI) на съответния конструкционен елемент по отношение на минимална грапавост, микротвърдост и въведени остатъчни напрежения на натиск. В резултат на това устойчивостта срещу възникването на пукнатини от умора, устойчивостта на възникването на пукнатини в резултат на корозия, износоустойчивостта и корозионната устойчивост се увеличават значително. Основната характеристика на ДЗ е контактът триене чрез плъзгане между деформиращия елемент и обработваната повърхност. Чрез диференциалния морфологичен метод е създадена интегрирана класификация на статичните методи и е очертана зоната на приложение на ДЗ. Предложената морфологична матрица, която може да бъде разширявана и допълвана, съдържа съществуващите методи за заглаждане, както и комбинации от елементи и взаимодействия, които

могат да бъдат използвани за синтезиране на нови методи и инструменти за заглаждане. Освен това е направен литературен преглед на публикациите, посветени на ДЗ. Извършен е анализ на публикуваните изследвания по различни критерии и са направени графични визуализации на статистическите резултати. На тази база са направени съответните изводи и са очертани насоките за бъдещи изследвания на ДЗ.

This review paper is devoted to the slide burnishing (SB) of metal components—state-of-the-art, achievements and perspectives. SB belongs to the group of static methods for mechanical surface treatment used largely in aerospace, automotive and other industries. By means of the plastic deformation of the surface layers, the surface integrity (SI) of the respective component is improved greatly in terms of minimum roughness, micro-hardness and introduced residual compressive stresses. As a result, fatigue crack resistance, crack corrosion resistance, wear resistance and corrosion resistance increase dramatically. The main feature of SB is the sliding friction contact between the deforming element and the surface being treated. Using the differential morphological method, an integrated classification of the static methods is created and the area of SB is outlined. The proposed morphological matrix, which can be expanded and supplemented contains existing burnishing methods as well as combinations of elements and interactions that can be used to synthesize new burnishing methods and tools. In addition, a literature review of the publications devoted to SB has been conducted. Further, an analysis of the published studies on different criteria has been carried out and graphic visualizations of the statistical results have been made. On this basis, relevant conclusions have been made and the directions for future investigations of SB have been outlined.

- 1.Г.1. Maximov JT, **Anchev A.P.**, Dunchева GV, Ganev N, Selimov KF, Dunchев VP. Impact of slide diamond burnishing additional parameters on fatigue behaviour of 2024-T3 Al alloy. *Fatigue and Fracture Engineering Materials and Structure*. 42 (1) 2019 363-373. <https://doi.org/10.1111/ffe.12915>. ISSN: 1460-2695.

Един от методите за увеличаване на издръжливостта на умора на цилиндрични конструкционни елементи е диамантно заглаждане (ДЗ). Основно предимство на метода е приложението му върху конвенционални и CNC металообработващи машини посредством универсален инструмент. Основните технологични параметри на ДЗ са радиус на върха на диаманта, силата на притискане, скорост на подаване и периферна скорост. Допълнителните технологични параметри са брой преходи, работна схема и условия на смазване. Експериментално е изследван ефектът от допълнителните параметри на ДЗ върху поведението на умора на сплав 2024-T3 Al. Групи от образци с форма на пясъчен часовник са обработени посредством ДЗ и различни комбинации от допълнителни параметри. След това са подложени на тестове за умора на огъване. Остатъчните напрежения, въведени чрез ДЗ, са измерени посредством рентгенова дифрактометрия. Изследвана е микроструктурата на образци обработени чрез ДЗ. Въз основа на получените резултати е установено, че ДЗ произвежда два основни ефекта, които зависят от допълнителните технологични параметри на процеса. Същността на макроефекта е създаването на остатъчни напрежения на натиск в повърхностните и подповърхностните слоеве. Тези напрежения забавят образуването и растежа на макропукнатини от умора и по този начин се увеличава дълготрайността на детайли обработени посредством ДЗ. Микроефектът се изразява в модифициране на микроструктурата на повърхностния и подповърхностните слоеве, съответно издребняване на размера на зърната, хомогенизиране и намаляване на порите в материала. Такава микроструктура се характеризира с повишена пластичност и устойчивост на развитието на пукнатини от умора. Уморната дълготрайност зависи от комбинацията от тези два ефекта. По този начин, желаното поведение на умора на детайл обработен посредством ДЗ може да бъде осигурено чрез подходящ избор на управляващите и допълнителни технологични параметри.

One of the methods for increasing fatigue life of symmetric rotary metal components is slide diamond burnishing (SDB). This method is implemented on conventional and computer numerical control machine tools by means of simple equipment, which is its main advantage. The SDB basic parameters are diamond insert radius, burnishing force, feed rate, and burnishing velocity. The additional

ones are number of passes, working scheme, and lubrication conditions. The effect of SDB additional parameters on the fatigue behaviour of 2024-T3 Al alloy was experimentally studied. Groups of smooth and notched hourglass-shaped specimens were slide burnished using different combinations of additional SDB parameters and then were subjected to bending fatigue tests. The residual stresses, introduced by SDB, were measured by X-ray diffraction technique. The near-surface microstructure of the slide-burnished specimens was investigated. Based on the results obtained, it was established that SDB produces two main effects, which depend on SDB additional parameters. The essence of the macroeffect is creation of residual compressive stresses in the superficial and subsurface layers. This stresses retard the formation and growth of fatigue macrocracks and thus increase the lifetime of slide-burnished components. The microeffect is expressed in modifying the microstructure of the surface and subsurface layers, correspondingly, refining the grain and homogenizing and reducing the pores in the material. Such microstructure is characterized by increased plasticity and fatigue crack resistance. The fatigue life depends on the combination of these two effects. Thus, the desired fatigue behaviour of the slide-burnished component can be ensured through an appropriate selection of the governing additional SDB parameters.

1.Г.2. Maximov JT, Duncheva GV, **Anchev A.P.**, Dunchev VP. Crack resistance enhancement of joint bar holes by slide diamond burnishing using new tool equipment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 102 (2019) 3151-3164. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03405-x>. ISSN 0268-3768

Статията представя нова технология за обработка на отвори във връзките за наставови ЖП релси. Връзките са част от съединението между краищата на наставови ЖП релси, които са критично място за зараждане и разпространение на пукнатини от умора, причинени от циклично натоварване, дължащо се на преминаващи влакове. Вероятността от възникване на ъглови пукнатини, започващи от вътрешните повърхнини на отворите на връзката, е доказана с помощта на метода на крайните елементи (МКЕ). На тази основа се обосновава необходимостта от нова технология за повишаване устойчивостта срещу възникването на пукнатини на отворите във връзките. Технологията включва диамантно заглаждане (ДЗ) като довършващо обработване на тези отвори. Разработено е ново инструментално оборудване, включващо комбиниран режещ инструмент и устройство за ДЗ с еластична греда, задаващата необходимата сила на притискане. Оборудването е предназначено за фрезови машини и обработващи центри. Оптималните параметри на процесите на рязане и ДЗ се получават чрез планирани експерименти, регресионни анализи, генетичен алгоритъм и КЕ анализи. Разпределението на въведените полезни остатъчни окръжни напрежения се намира чрез провеждане на КЕ анализ на процеса ДЗ. Тези напрежения забавят зараждането и развитието на пукнатини от умора, стартиращи от повърхността на отвора. Както микроструктурния анализ посредством микроскоп, така и тестовете на умора доказват предимството на тази технология, изразяващо се в повишената устойчивост срещу появата и развитието на пукнатини около отворите на наставовите връзки.

The article presents a new technology for joint bar holes processing. Joint bars are components of rail bolted joints, which are a critical place for nucleation and propagation of fatigue cracks caused by cyclic loading due to passing trains. The probability of corner cracks arising, starting from the internal edges of the joint bar holes, is proven using the finite element method (FEM). On this basis, the necessity for a new technology for the enhancement of crack resistance of joint bar holes is grounded. The technology comprises slide diamond burnishing (SDB) as finishing of these holes. New tool equipment is developed including a combined cutting tool and an SDB device with elastic beam in order to set the necessary burnishing force. The equipment is intended for milling machine tools and machining centers. The optimal parameters of both cutting and SDB processes are obtained through planned experiments, regression analyses, genetic algorithm, and FE analyses. The distribution of the introduced beneficial residual hoop stresses is found by conducting a FE analysis of the SDB process. These stresses delay the nucleation and growth of fatigue cracks initiating in the hole surface. Both microscope analysis and fatigue tests prove this technology's advantage, expressed in the increased crack resistance of joint bar holes.

1.Г.3. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., **Anchev A.P.**, I. M. Amudjev. New method and tool for increasing fatigue life of a large number of small fastener holes in 2024-T3 Al alloy. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 41 (4) (2019) 1-17. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1709-8>. ISSN 1678-5878.

Разработен е нов метод и инструмент за обработка на голям брой малки скрепителни отвори в конструкции от високояки Al сплави чрез студена пластична деформация, за да се намали времето за обработване, като се спазва изискването за висока якост на умора. Деформиращата част на инструмента е специално профилирана в напречно сечение, така че контактът с повърхността на отвора да е непрекъснат. Диаметърът на описаната окръжност около деформиращата част е по-голям от диаметъра на предварително пробития и райберован отвор. Инструментът и отворът имат обща ос, около която инструментът се върти и в същото време се движи по същата ос, докато преминава през отвора. По този начин методът произвежда три основни благоприятни ефекта: студено разширение на отвора, повърхностна пластична деформация (mixed burnishing) и модификация на микроструктурата (friction stir and torsion). Тези три ефекта са изследвани и доказани чрез експеримент и 3D KE симулации. Направена е интегрална оценка на предложените метод и инструмент чрез изпитвания на умора на цикличен опън. Получените S–N криви доказват, че дълготрайността на умора се увеличава значително в сравнение със случая само на пробити и райберовани отвори. Въз основа на проведените проучвания е проектиран и произведен суперкомбиниран инструмент, който последователно извършва пробиване, райбероване и студена пластична деформация. Този инструмент значително увеличава производителността при обработката на голям брой скрепителни отвори в конструкционни елементи от алуминиеви сплави.

A new method and tool for processing a large number of small fastener holes in high-strength Al alloy structures through cold plastic deformation have been developed in order to decrease labor and operational time by following the high fatigue resistance requirement. The deforming portion of the tool has been specifically profiled in cross section so that the contact with the hole surface is disrupted. The diameter of the circumference around the deforming portion is greater than the diameter of a preliminary drilled and reamed hole. The tool and hole have a common axis around which the tool is rotating and, at the same time, moving along the same axis while passing through the hole. Thus, this method produces three main beneficial effects: hole cold expansion, surface plastic deformation (mixed burnishing) and microstructure modification (friction stir and torsion). These three effects have been studied and proven through an experiment and 3D FEM simulations. An integral evaluation of the proposed method and tool has been made through fatigue tests of cyclic tension. The obtained S–N curves prove that the fatigue life increases significantly in comparison with the case of only drilled and reamed holes. Based on the conducted studies, a super-combined tool that consequently performs drilling, reaming and cold plastic deformation has been designed and manufactured. This tool significantly increases the productivity of processing a large number of fastener holes in aluminum structures.

1.Г.4. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., **Anchev A.P.**, Dunchev V.P. Smoothing, deep, or mixed diamond burnishing of low-alloy steel components – optimization procedures. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 106 (2020) 1917-1929 doi:10.1007/s00170-019-04747-2

Диамантното заглаждане (ДЗ) е статичен метод за механична повърхностна обработка, базирана на значителна повърхностна пластична деформация, насочена към значително подобряване на Surface integrity и експлоатационните свойства на обработвания компонент. Много често ДЗ неоснователно се възприема като само заглаждане. В настоящата статия е показано, че ДЗ може да се реализира като smoothing, deep, or mixed burnishing в зависимост от конкретната комбинация от технологични параметри, управляващи процеса. Проведени са оптимизации на процеса ДЗ за стомана 41Cr4 по различни критерии, за да се получат оптималните технологични параметри на процеса ДЗ. Изборът на управляващи фактори и цели

функции (грапавост и граница на умора), които са получени въз основа на планирани експерименти и регресионни анализи, са напълно обосновани. Чрез едноцелеви оптимизации се получават безкомпромисните оптимални стойности на целевите функции и съответните оптимални стойности на управляващите фактори на ДЗ и deep burnishing. Разработена е нова оптимизационна процедура за решаване на многоцелева оптимизационна задача, с цел да се получат компромисни оптимални стойности едновременно за целевите функции и управляващите фактори при процеса ДЗ. За да се подчертаят предимствата на предложената процедура за оптимизация, решението на многоцелевата задача се сравнява с резултатите, получени чрез някои от известните методи, например чрез методът на тегловния вектор и методът базиран върху функция на загубите.

Diamond burnishing (DB) is a static mechanical surface treatment based on severe surface plastic deformation aimed at significant improvement in the surface integrity and operating properties of the treated component. Very often, DB is unjustifiably perceived of as typical smoothing burnishing. In the present article, it is shown that DB can be conducted as smoothing, deep, or mixed burnishing depending on the particular combination of process governing factors employed. Optimizations of the DB process for 41Cr4 steel under different criteria are conducted in order to obtain the optimal parameters of different DB processes. The choices of governing factors and objective functions (roughness and fatigue limits), which are obtained on the basis of planned experiments and regression analyses, are fully justified. By means of one-objective optimizations, the uncompromising optimum values of the objective functions and the corresponding optimum values of the governing factors of smoothing and deep DB processes are obtained. A new optimization procedure for solving a multi-objective optimization task is developed in order to obtain compromise optimal values simultaneously with the objective functions and governing factors of the mixed DB process. In order to highlight the advantages of the proposed optimization procedure, the multi-objective task solution is compared with the results obtained via some known methods, i.e., the compromise weight vector and function of the losses methods.

1.Г.5. G. V. Duncheva, J. T. Maximov, N. Ganey, **A. P. Anchev**. Fatigue Life Enhancement of a D16AT Aluminum Alloy for Aircraft Components with Fastener Holes. Strength of Materials. 52 (2020) 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11223-020-00144-3> ISSN:0556-171X.

Статията оценява Al-сплав D16AT използвана в аероиндустрията. Сравнени са методите friction stir hole expansion (FSHE), solid mandrel cold working and symmetric cold expansion (SCE). Резултатите са обобщени на базата на проведени тестове на умора, S–N криви, рентгенова дифрактометрия и микроструктурен анализ. В областта на малоциклова умора SCE осигурява повече от 66 пъти по-голяма дълготрайност на умора в сравнение с метода на solid mandrel cold working и повече от 82 пъти по-голяма дълготрайност на умора в сравнение с метода FSHE. Чрез рентгенова дифрактометрия беше установено, че по-високата ефективност на метода SCE се дължи на симетричното разпределение (по отношение на средната равнина на образеца) на остатъчните окръжни напрежения около отвора. От друга страна, методът solid mandrel cold working причинява значителен градиент на разпределението на остатъчните напрежения по дебелината на плоския образец, което е предпоставка за зараждане и разпространение на ъглови уморни пукнатини. Установено е, че ефективността на метода FSHE зависи основно от генерираната топлина и еквивалентната пластична деформация. Комбинацията от тези фактори определя благоприятния микроефект от модифицирането на микроструктурата в близост до отвора и полезен макроефект, дължащ се на въведените остатъчни напрежения на натиск. Методът SCE трябва да се използва за предварително обработване на скрепителни отвори в най-натоварените компоненти от алуминиева сплав D16AT крила и фюзелаж на самолета, докато методът FSHE може да се прилага за обработка на скрепителни отвори в по-малко натоварени конструкционни елементи на самолета.

D16AT aircraft Al-alloy was evaluated. The friction stir hole expansion (FSHE), solid mandrel cold working and symmetric cold expansion (SCE) methods were compared. The results are summarized on the basis of fatigue tests, S–N curves, X-ray diffraction, and microstructural analysis. Under the high-cycle fatigue, SCE provides more than 66 times longer fatigue life as compared to the solid mandrel method and more than 82 times greater fatigue life in comparison with the FSHE method. Through X-ray diffraction analysis it was found that the higher efficiency of the SCE method was due to symmetric distribution (with respect to the plate middle plane) of residual hoop stresses around the hole. On the other hand, the solid mandrel cold working method causes a significant gradient of the residual stress distribution through the plate thickness, which is a precondition for nucleation and propagation of corner fatigue cracks. The FSHE method efficiency was established to be primarily dependent on generated heat and equivalent plastic strains. The combination of these factors determines the beneficial microeffect of the microstructure modifying in the vicinity of the hole and a useful macroeffect due to residual compressive stresses. It was concluded that SCE method should be used for prestressing of fastener holes in the most loaded components in D16AT aircraft structures – wings and fuselage, while the FSHE one can be applied to processing of fastener holes in less loaded aircraft components.

1.Г.6. J.T. Maximov, G.V. Duncheva, **A.P. Anchev**, V.P.Dunchev, M.D.Ichkova.
Improvement in fatigue strength of 41Cr4 steel through slide diamond burnishing.
Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 42 (4)
(2020) 1-20. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02276-8>.

Диамантното заглаждане (ДЗ) е статичен метод за механична повърхностна обработка, базиран на въвеждането на пластична деформация на повърхността, реализирана чрез контакт триене при плъзгане между деформиращият елемент и обработваната повърхност. ДЗ подобрява значително драстично Surface integrity на конструкционни елементи и машинни компоненти. Тази статия е посветена на подобряване на якостта на умора на образци с форма на пясъчен часовник от стомана 41Cr4, подложени на ДЗ с инструмент с диамантен сферичен връх чрез различни комбинации от основни управляващи технологични параметри. Тъй като въведените остатъчни напрежения на натиск играят значителна роля за поведението на умора на обработените компоненти, бе проведено цялостно параметрично изследване на процеса ДЗ с помощта на напълно свързан термомеханичен анализ посредством МКЕ. Адекватността на КЕ модел бе доказана чрез сравнение на резултатите от КЕ анализ за остатъчните напрежения с измервания посредством рентгенов дифракционен анализ. Получените резултати показват, че радиусът на диаманта и силата на притискане имат най-силно изразен ефект върху остатъчните напрежения, които от своя страна оказват значително влияние върху якостта на умора, респективно на дълготрайността на умора. Проведено е обширно експериментално изследване на ефекта на избраните основни технологични параметри на ДЗ върху границата на умора на образци обработени чрез ДЗ с помощта на метода на Locatti. Последното се основава на хипотезата за линейно натрупване на повреди на Palmgren–Miner, която е частен случай на общата теория за натрупаните повреди. Проведен е планиран експеримент, като управляващите фактори се установяват на четири нива. Извършен е регресионен анализ на експерименталните резултати и е получен модел за предсказване на границата на умора. Въз основа на получения модел е извършена едноцелева оптимизация с помощта на генетичен алгоритъм. При обработването на образци чрез оптималните технологични параметри границата на умора на обработените образци е повишена с 22,7% - от 440 на 540 МПа. Дълготрайността на умора се увеличава повече от 100 пъти след ДЗ с оптимални технологични параметри.

Slide burnishing (SB) is a static mechanical surface treatment based on the severe plastic deformation of the surface for which the contact between the deforming element and the surface being treated is sliding friction. SB improves the surface integrity of metal structural and machine components dramatically. This paper is devoted to improving the fatigue strength of 41Cr4 steel hourglass-shaped specimens subjected to SB with a spherical-ended deforming diamond via different combinations of basic governing parameters. Since the residual compressive stresses introduced play a significant role

for the fatigue behavior of the burnished components, a comprehensive parametric study of the SB process was conducted using fully coupled thermal-stress finite element (FE) simulations. The FE model's adequacy was proven via comparison of the FE results for the residual stresses with X-ray diffraction measurements. The results obtained show that the diamond radius and the burnishing force have the strongest effects on the residual stresses, which, in turn, have a significant influence on the fatigue strength, respectively, fatigue life. An extensive experimental investigation of the effect of the selected SB basic parameters on the fatigue limit of the slide burnished specimens was carried out using Locatti's method. The latter is based on the Palmgren–Miner linear damage hypothesis, which is a particular case of a general cumulative damage theory. A planned experiment was carried out, with the governing factors changed among four levels. Regression analysis of the experimental results was carried out, and a model for predicting the fatigue limit was obtained. Based on the model obtained, a one-purpose optimization was carried out using a genetic algorithm. By means of the optimal basic parameters, the fatigue limit of the processed specimens was increased by 22.7%—from 440 to 540 MPa. The fatigue life increased more than 100 times over after SB with the optimal basic parameters.

1.Г.7. Duncheva, G.V., Maximov, J.T., V.P.Dunchev, **Anchev A.P.**, T.P. Atanasov, J. Capek. Single toroidal roller burnishing of 2024-T3 Al alloy implemented as mixed burnishing process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 111 (2020). 3559-3570 . <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06350-2>. 2.633

Въз основа на цялостно експериментално проучване, методът повърхностно пластично деформиране с тороидална ролка (ППДТР) на алуминиева сплав 2024-T3 може да бъде успешно приложен като mixed burnishing process. Оптималните стойности на различните управляващи фактори осигуряват минимална грапавост и значително увеличаване на дълготрайността на умора на експерименталните образци. Посредством планиран експеримент, регресионен анализ и оптимизация, базирана на генетичен алгоритъм, са установени оптималните стойности на технологичните параметри при критерий минимална грапавост. Полученият модел предсказва минимална грапавост $R_a = 0,074 \mu\text{m}$. Експериментът с оптимални параметри на процеса осигури средна грапавост (R_a) от $0,1 \mu\text{m}$. ППДТР при тези оптимални условия дава относително хомогенна повърхност по отношение на микротвърдостта с увеличение на повърхностната микротвърдост от 37,6%. Параметричното изследване на остатъчните окръжни и осови напрежения на повърхността е проведено чрез X-ray stress analysis, показва, че ППДТР с близки до оптималните стойности на параметрите на процеса въвежда значителни остатъчни напрежения. ППДТР на образци от алуминиевата сплав 2024-T3, приложен като mixed burnishing process, създава почти огледална повърхност, подобрява дълготрайността на умора с повече от 2000 пъти и увеличава границата на умора с 35,1% в сравнение с образците обработени само с рязане.

Based on a comprehensive experimental study, single toroidal roller burnishing (STRB) of the 2024-T3 Al alloy can be successfully implemented as a mixed burnishing process. Optimum values of various governing factors provided minimum roughness and significant enhancement of the fatigue life of the treated specimens. With a planned experiment, regression analysis, and optimization procedure based on a genetic algorithm, the optimum factor values were established under a minimum roughness criterion. The derived model predicted a minimum roughness $R_a = 0.074 \mu\text{m}$. The experiment with optimal process parameters provided an average roughness (R_a) of $0.1 \mu\text{m}$. STRB under these optimal conditions yields a relatively homogeneous surface in terms of microhardness with a surface microhardness increase coefficient of 37.6%. The parametric study of the residual surface hoop and axial stresses conducted via X-ray stress analysis shows that the STRB with near-optimal process parameters introduces significant residual stresses. STRB of the 2024-T3 Al alloy, implemented as a mixed burnishing process, produces a mirror-finish surface, improves the fatigue life by more than 2000 times, and increases the conventional fatigue limit by 35.1% compared to the reference condition.

1.Г.8. Duncheva, G.V., Maximov, J.T., **Anchev A.P.**, A.P. V.P.Dunchev, T. P. Atanasov, J. Capek. Finite element and experimental study of the residual stresses in 2024-T3

Статията представя резултатите от симулациите с метод на крайните елементи (МКЕ) и измервания на остатъчните напрежения във високояка алуминиева сплав 2024-T3, въведени чрез повърхностно пластично деформиране с тороидална ролка (ППДТР). По отношение на геометрията на деформиращата тороидална ролка, ППДТР е особено подходящ за осъществяване на процеса deep rolling. Разработен е 3D КЕ модел с помощта на концепцията flow stress и е симулирана реалната кинематика на ППДТР, за да се оценят както окръжните, така и осовите остатъчни напрежения. КЕ модел бе валидиран чрез сравнение на резултатите получени от КЕ и от X-ray измервания на остатъчните напрежения. Изследвани са влиянието на силата на притискане, скоростта на подаване и броя на преходите върху остатъчните окръжни и осови напрежения. Установено е, че увеличаването на скоростта на подаване води до намаляване на остатъчните окръжни остатъчни напрежения и увеличаване на остатъчните осови напрежения. По-голямата сила на притискане увеличава дълбочината на зоната на натиск и само леко увеличава повърхностните остатъчни напрежения. КЕ и рентгеновият анализ на напреженията потвърждават ефективността на ППДТР на алуминиева сплав 2024-T3 за въвеждане на значителни по стойност остатъчни осови и окръжни напрежения на натиск.

This article presents the outcomes of finite element (FE) simulations and X-ray stress measurements of residual stresses in high-strength 2024-T3 Al alloy introduced via the single toroidal roller burnishing (STRB) process. In terms of the deforming toroidal roller geometry, STRB is particularly suitable for deep rolling. A 3D FE model was developed using the flow stress concept, and the actual STRB kinematics was simulated to evaluate both hoop and axial residual stresses. The FE model was validated through a comparison of FE and X-ray residual stress distributions. The effects of the burnishing force, feed rate, and number of passes on the residual hoop and axial stresses were studied. It was established that increasing the feed rate leads to a decrease in the residual hoop stresses and an increase in the residual axial stresses. The greater burnishing force increases the compressive zone depth and only slightly increases the surface residual stresses. The FE and X-ray stress analyses confirm the effectiveness of STRB of 2024-T3 Al alloy to introduce significant residual compressive axial and hoop stresses.

1.Г.9. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., V. Dunchev, **Anchev A.P**, T. P. Atanasov.
Improvement in Fatigue Performance of 2024-T3 Al Alloy Via Single Toroidal Roller Burnishing. Journal of Materials Engineering and Performance. 30 (2021) 2256–2266. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05535-4>

Механичната обработка на повърхността, базирано на използване на статични методи за ППД, е рентабилен подход за подобряване на параметрите на Surface integrity и по този начин на експлоатационните свойства на конструкционни елементи. Настоящата работа разглежда възможността за използване на повърхностно пластично деформиране с тороидална ролка (ППДТР) за прилагане на концепцията за deep rolling. Изследва се ефектът на технологичните параметрите на процеса ППДТР върху поведението на умора на образци от алуминиева сплав 2024-T3. Експерименталните образци са обработени с нарочно създадено устройство за ППДТР. Границата на умора на алуминиевата сплав 2024-T3 е установена чрез построяването на S-N крива и метода на тангентата. Внедряването на ППДТР като процес за deep rolling на образци от алуминиева сплав 2024-T3 осигурява максимална конвенционална (ограничена) граница на умора от 256 МПа. В сравнение с образците обработени само с рязане, границата на умора се е увеличила с 38,4%. При използването на метода ППДТР дълготрайността на умора, отчетена за броя цикли съответстващ на ограничената граница на умора, се увеличава над 2000 пъти. С увеличаване броя на преходите якостта на умора нараства, с нарастване на границата на умора на алуминиевата сплав 2024-T3. Увеличаването на броя на преходите има значение до шестия, след което ефектът е незначителен.

Mechanical surface treatment, based on static severe plastic deformation of the surface layer, is a cost-effective approach to improving surface integrity and thus the operating properties of metal components. The present work examines the possibility of using single toroidal roller burnishing (STRB) to implement the deep rolling concept. The effect of the STRB process parameters on the fatigue behavior of 2024-T3 Al alloy specimens is investigated. The specimens were manufactured using a newly developed STRB device. The conventional fatigue limit of 2024-T3 Al alloy is established using the S–N curve approach and tangent method. The STRB implementation as the deep rolling process for 2024-T3 Al alloy specimens provides a maximum conventional fatigue limit of 256 MPa. Compared to the reference condition, the fatigue limit has increased by 38.4%. Calculated at the number of cycles corresponding to the conventional fatigue limit, the fatigue life is enhanced more than 2000 times over. The increase in the number of passes enhances the fatigue strength: as a result the conventional fatigue limit of the treated 2024-T3 Al alloy increased.

Increasing the number of passes has practical meaning for up to six passes, after which the effect is negligible.

1.Г.10. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., V. Dunchev, **Anchev A.P.** Different strategies for finite element simulations of static mechanical surface treatment processes—a comparative analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 43 371 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03085-3>.

Методите на статична механична обработка на повърхността (МОП), базирани на прилагането на много голяма пластична деформация на повърхностните и подповърхностните слоеве, подобряват значително Surface integrity (SI) на конструкционни елементи и по този начин техните експлоатационни свойства. Методът на крайните елементи (МКЕ) е основен метод за симулации, използван при числените изследвания на процеси за МОП. Въпреки че, МКЕ винаги изисква експериментална проверка на получените резултати и провеждането на експеримент за установяване на адекватен конститутивен модел на материала, този метод спестява на изследователя значително време и ресурси. Въз основа на анализ на публикуваните проучвания, посветени на FE симулации на статични МОП процеси, е установено, че съществени за получаването на адекватен KE модел са пет основни условия. Теоретичните формулировки са илюстрирани чрез създаване на FE модел на процеса Диамантно заглаждане (ДЗ) при използването на различни стратегии, за извършване на сравнителен анализ между тях. ДЗ е статичен МОП процес с термомеханичен характер. Адекватността на всеки KE модел, съответно стратегия, се оценява чрез сравняване на резултатите от KE за остатъчните напрежения с експерименталните резултати, получени чрез рентгенова дифракция. Извършен е напълно свързан термомеханичен 3D KE анализ на процеса ДЗ с нелинейно кинематично уякчаване. Установено че, че при относително ниска периферна скорост на обработване, топлинният ефект може да бъде пренебрегнат.

Static mechanical surface treatment (MST) processes based on the severe plastic deformation of the surface and subsurface layers improve the surface integrity (SI) of a metal component dramatically and thus its operational properties. The finite element method (FEM) is a basic simulation method used in the numerical investigations of MST processes. Although FEM always requires experimental verification of the results so obtained and an experiment to establish an adequate material constitutive model, this method saves of the researcher significant time and resources. Based on an analysis of the published studies devoted to FE simulations of static MST processes, five basic conditions have been found to be essential in order to build an adequate FE model. The theoretical formulations are then illustrated by creating FE models of the slide diamond burnishing (SDB) process using different strategies to make a comparative analysis between them. SDB is a static MST process with a thermomechanical nature. The adequacy of each FE model, respectively, strategy, is then assessed by comparing the FE results for the residual stresses with the experimental results obtained via the X-ray diffraction technique. It has been shown that a fully coupled thermal-stress 3D FE analysis of an SDB

process with nonlinear kinematic hardening should be carried out. When the burnishing velocity is relatively small, the thermal effect can be neglected.

1.Г.11. Kaisheva D., **A. Anchev**, S. Valkov, V. Dunchev, G. Kotlarski, B. Stoyanov, M. Ormanova M. Atanasova, P. Petrov. Influence of Beam Power on Structures and Mechanical Characteristics of Electron-Beam-Welded Joints of Copper and Stainless Steel. *Metals*. 12 (5) 737 (2022). <https://doi.org/10.3390/met12050737>.

В това изследване са представени резултатите от електронно-лъчево заваряване на съединения с неръждаема стомана 304-L и чиста мед. Изследвано е влиянието на мощността на лъча върху получените структури и механични свойства на заварените съединения; Експериментите са реализирани при отклонение на лъча от 0,3 mm в посока на чистата мед и мощност на лъча от 2400, 3000 и 3600 W. Фазовият състав на получените заварени съединения е изследван чрез рентгенова дифракция (XRD); микроструктурата и химичният състав са изследвани съответно чрез сканираща електронна микроскопия (SEM) и енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия (EDX). Механичните свойства са изследвани чрез провеждането на тестове на опън и определяне на микротвърдост. В зоната на заварката, фазовият състав е под формата на твърд разтвор между Fe и Cu и чиста мед, които остават непроменени при промяна на мощността. Установено е, че микроструктурата в зоната на заварените метали се променя постепенно при промяна на стойностите на мощността на електронния лъч. Резултатите от тестовете за опън показват по-високи стойности на якостта на опън при по-ниски мощности на лъча (2400W и 3000 W), и спада на якостта на опън при 3600 W. Относителното удължения на образците нарастват с увеличаване на мощността на електронния лъч. Освен това беше установено, че микротвърдостта силно зависи от прилаганите технологични условия (определени от мощността на електронния лъч) и получените микроструктури на заварените съединения.

In this study, we present the results of electron-beam welding of joints with 304-L stainless steel and copper. The influence of the beam's power on the structures and mechanical properties of the welded joints was studied; the experiments were realized at a beam deflection of 0.3 mm to the Cu plate and beam powers of 2400, 3000, and 3600W. The phase compositions of the obtained welded joints were studied by using X-ray diffraction (XRD); the microstructure and chemical composition were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), respectively. The mechanical properties were studied by using tensile experiments and microhardness investigations. The phase compositions of the welded joints were in the forms of substitutional solid solutions between Fe, Cu, and pure copper and remained unchanged in terms of power. It was found that the microstructures changed gradually with the application of different values of the power of the electron beam. The results of the tensile tests showed higher tensile strengths at lower beam powers (i.e., 2400 and 3000 W) that dropped at 3600W. The relative elongations rose with increases in the power of the electron beam. Moreover, it was found that the microhardnesses strongly depended on the applied technological conditions (defined by the electron beam's power) and the corresponding microstructures of the welded joints.

2.Г.1. Kaisheva D., **A. Anchev**, V. Dunchev, B. Stoyanov, S. Valkov, M. Ormanova, G. Kotlarski, V. Todorov, M. Atanasova, S. Rabadzhiyska, P. Petrov. Study of the structure and mechanical properties of electron beam-welded dissimilar joints of copper and stainless steel with and without offset. *Journal of Physics: Conference Series*. 2240 (2022) 012006. Doi:10.1088/1742-6596/2240/1/012006.

Представяме резултатите от изследване на структурата и механичните свойства на заварени съединения от разнородни метали - мед и неръждаема стомана 304L, посредством електронно-лъчево заваряване. Изследваните образци са заварени без отместване на електронния лъч и с отместване на електронния лъч последователно към всеки един от двата материала на разстояние

0,3 mm. Фазовият състав е определен чрез рентгенов фазов анализ. Структурата е изследвана с помощта на сканираща електронна микроскопия. Определени са механичните свойства - твърдост и якост на опън. Фазовият състав на изследваните образци се състои от двуфазна структура от стенно-центрирана кубична и обемно-центрирана кубична решетки. Образецът, заварен без отместване на ел. лъч, показва най-високи стойности на граница на провлачване и якост на опън. Микротвърдостта на всички образци се повишава в зоната на термично влияние от към страната на стоманата и намалява в зоната на термично влияние от към страната на медта в сравнение с микротвърдостта на двата материала без термично влияние.

We present the results of an investigation of the structure and mechanical properties of dissimilar joints of copper and 304L stainless steel formed by electron-beam welding. The samples studied were welded without a beam offset and with a beam offset towards either welded material to a distance of 0.3 mm. The phase composition was determined via X-ray analysis. The structure was investigated using scanning electron microscopy. The mechanical properties, including hardness and tensile strength, were measured. The phase composition of the considered specimens consisted of a double-phase structure of face-centered cubic (fcc) and body-centered cubic (bcc) phases. The sample welded without offset exhibited the highest yield strength and tensile strength values. The microhardness of all samples increased in the fusion zone on the steel side and decreased in the fusion zone on the copper side compared to the initial hardness of the two materials.

3. Г.1. Selimov K., **A. Anchev**, I.T. Barzev, Micro-hardness in slide burnishing of D16T high strength aluminium alloys. UNITECH 2016, Gabrovo, vol.3 p. 96-100.

Добре известно е, че процесите реализиращи повърхностно пластично деформиране повишават якостта на умора и товароносимостта на конструкционните елементи. За ротационни конструкционни елементи, изработени от високояки алуминиеви сплави, диамантното заглаждане (ДЗ) е подходящо поради своята простота и лесна реализация. Анализирани са ефектите на допълнителните параметри на процеса върху микротвърдостта, получена при ДЗ на образци от високояка алуминиева сплав D16T. С получените оптимални стойности на основните управляващи фактори е изследвано влиянието на броя на преходите и наличието на мазане върху микротвърдостта на обработваните образци при еднопосочна и разнопосочна работни схеми.

It is well known that burnishing processes are beneficial for enhancement of fatigue strength and load-carrying capacity of structural and machine components. For symmetric rotational components made of high-strength aluminum alloys, slide burnishing is appropriate because of its simplicity and easy realization. The effect of the additional process parameters on the micro-hardness obtained in slide burnishing of D16T aircraft aluminum alloy has been analyzed. With the combination of optimal values of the basic governing factors, the effect of number of passes and lubricant-cooler on the micro-hardness of the surface being treated has been studied for two working schemes.

4.Г.1. Selimov K.F., **A. P. Anchev**, J. T. Maximov, Y. M. Mitev. Influence of slide burnishing parameters on the surface roughness of D16T high-strength aluminium alloy. Машиностроене и машинознание. vol.27, p.65-70. Варна, 2017. ISSN 1312-8612.

Добре известно е, че освен остатъчните напрежения на натиск, ниската грапавост на повърхностния слой също води до повишаване на якостта на умора на конструкционните елементи. Този комплекс от свойства може да бъде постигнат чрез използване на повърхностна пластична деформация. За ротационни конструкционни елементи, изработени от високояки алуминиеви сплави, диамантното заглаждане (ДЗ) е подходящо поради неговата простота и лесна реализация. Анализирани са влиянието на параметрите на процеса върху получаваната грапавост, на образци от високояка алуминиева сплав D16T подложени на ДЗ. Оптималните стойности на основните управляващи фактори, които осигуряват минимална грапавост (до 0.05 μm), са установени на базата на еднофакторен експеримент, последван от планиран експеримент и допълнителни експерименти. С установените оптимални стойности на технологичните параметри на процеса ДЗ е

изследвано влиянието на броя на преходите и наличието на мазане върху получената грапавост, както и работната схема на процеса – еднопосочна и разнопосочна.

It is well known that apart from compressive residual stresses, smooth surface of the surface layer is beneficial for enhancement of fatigue strength of structural and machine components. This complex of properties can be achieved by using surface severe plastic deformation. For symmetric rotational components made of high-strength aluminum alloys, slide burnishing (SB) is appropriate because of its simplicity and easy realization. The effect of the process parameters on the surface roughness obtained in SB of D16T aircraft aluminum alloy has been analyzed. The optimal values of the basic governing factors, which ensure minimum roughness (up to $0.05 \mu\text{m}$), have been established on the basis of a one-factor-at-the-time method, followed by a planned experiment and additional experiments. With the established combination of optimal values, the effect of number of passes and lubricant-cooler on the roughness of the surface being treated has been studied for two working schemes.

4.Г.2. Анчев А., Микроструктурни изменения на високояка алуминиева сплав 2024-Т3, подложена на диамантно заглаждане. *Машиностроене и машинознание* т.28, Варна, 2018, стр. 75-79. ISSN 1312-8612.

За повишаване на уморната дълготрайност на ротационни детайли е особено подходящ да се използва метода диамантно заглаждане. Той създава зона с изключително полезните остатъчни напрежения (ОН) на натиск, ниска грапавост и повишена микро твърдост на обработваната повърхнина на конструкционния елемент. Статията представя резултати от металографски анализ на образци от високояка алуминиева сплав 2024-Т3, обработени посредством диамантно заглаждане и без употреба на смазочно охлаждаща течност. Установено е, че с повишаване броя на преходите в обработваните образци се постига значително издребняване и хомогенизиране на структурата в дълбочина около 0.5 mm от повърхността. Тази промяна е доказателство за реализиране на т. нар. микроефект, водещ до повишаване на уморната дълготрайност на конструкционните елементи.

To increase the fatigue life of symmetric rotational components, it is particularly suitable to use the diamond burnishing. It creates a zone of highly beneficial compressive residual stresses, low roughness and increased micro-hardness of the machined components. The article presents results of metallographic analysis of samples of high-strength aluminum alloy 2024-T3, processed by means of diamond burnishing and without the use of lubricating coolant. It was established that by increasing the number of passes in the processed samples, a significant reduction and homogenization of the structure is achieved in a depth of about 0.5 mm from the surface. This change is evidence of the realization of the so-called micro-effect, leading to an increase in the fatigue life of structural components.

4.Г.3. Д. Петков, А. Анчев, И. Амуджев. Технологични възможности на нов инструмент с К-профил за ППД на малки отвори Част I: Влияние на параметрите на процеса върху получаваната грапавост. *Машиностроене и машинознание* т.28, Варна, 2018, стр. 80-83. ISSN 1312-8612.

В статията се предлага решение за довършващо обработване чрез повърхностно пластично деформиране (ППД) на малки скрепителни отвори в конструкционни елементи от високо-яка алуминиева сплав 2024-Т3, посредством инструмент с К-профил на работната част, с която се осъществява ППД с контакт „триене при плъзгане”. Целта е освен ниска грапавост да се въведат полезни остатъчни напрежения на натиск около отворите, като по този начин да се увеличи уморната дълготрайност на съответния конструкционен елемент. Изследвано е влиянието на параметрите на процеса ППД (подаване, скорост, номинална стегнатост, брой на стените на К-профила) върху получаваната грапавост. Инструментът е особено подходящ за аероиндустрията, където се обработват голям брой малки скрепителни отвори.

The article proposes a solution for surface plastic deformation (SPD) finishing of small fastening holes in structural components made of high-strength aluminum alloy 2024-T3, using a tool with a K-profile of the working part, which fulfils SPD is carried out with contact " sliding friction". The aim is, in addition to low roughness, to introduce useful residual compressive stresses around the holes, thereby increasing the fatigue life of the structural component. The influence of SPD process parameters (feed, speed, nominal tightness, number of K-profile walls) on the obtained roughness was investigated. The tool is particularly suitable for the aerospace industry, where many small fastener holes are machined.

4.Г.4. **А. Анчев**, Д. Петков, И. Амуджев. Технологични възможности на нов инструмент с К-профил за ППД на малки отвори Част II: Енерго-силови параметри. Машиностроене и машинознание т.28, Варна, 2018, стр. 84-87.

В статията се предлага решение за довършващо обработване чрез повърхностно пластично деформиране (ППД) на малки скрепителни отвори в конструкционни елементи от високо-яка алуминиева сплав 2024-T3, посредством инструмент с К-профил на работната част, с която се осъществява ППД с контакт „триене при плъзгане“. Целта е освен ниска грапавост да се въведат полезни остатъчни напрежения на натиск около отворите, като по този начин да се увеличи уморната дълготрайност на съответния конструкционен елемент. Изследвано е влиянието на параметрите на процеса ППД (подаване, скорост, номинална стегнатост, брой на стените на К-профила) върху енерго-силовите параметри (осова сила и въртящ момент) на процеса. Инструментът е особено подходящ за аероиндустрията, където се обработват голям брой малки скрепителни отвори.

The article proposes a solution for surface plastic deformation (SPD) finishing of small fastening holes in structural components made of high-strength aluminum alloy 2024-T3, using a tool with a K-profile of the working part, which fulfils SPD is carried out with contact " sliding friction". The aim is, in addition to low roughness, to introduce useful residual compressive stresses around the holes, thereby increasing the fatigue life of the structural component. The influence of SPD process parameters (feed, speed, nominal tightness, number of K-profile walls) on the process power parameters (axial force and torque). The tool is particularly suitable for the aerospace industry, where many small fastener holes are machined.

4.Г.5. **А. Анчев**, Т. Атанасов, Г. Дунчева. Конститутивен модел на повърхностния слой на алуминиева сплав 2024-T3, подложена на ППД. Механика на машините. 123 (2019) 88-93. ISSN 0861-9727

Предложен е конститутивен модел на високояка алуминиева сплав 2024-T3, прилагайки концепцията „flow stress“. Моделът дефинира зависимостта между тензорите напрежение и деформация за точките от повърхностния слой на тази сплав, подложена на повърхностно пластично деформиране (ППД). Моделът е разработен на основата на комбиниран подход, базиран върху експериментален тест (indentation test) и инверсен крайно-елементен анализ на експерименталния тест. Разработеният конститутивен модел е предназначен за числени симулации на процеса ППД на външни цилиндрични повърхнини с деформиращи ролки.

A constitutive model of the high-strength aluminum alloy 2024-T3 is proposed, applying the "flow stress" concept. The model defines the dependence between the stress and strain tensors for the points of the surface layer of this alloy subjected to surface plastic deformation (SPD). The model was developed on the basis of a combined approach based on an experimental test (indentation test) and an inverse finite element analysis of the experimental test. The developed constitutive model is intended for numerical simulations of the PPD process of external cylindrical surfaces with deforming rollers.

4.Г.6. Г. Дунчева, Т. Атанасов, **А. Анчев**. Крайно-елементно моделиране на деформираното състояние на повърхностния слой на алуминиева сплав 2024-

Обект на изследване в тази работа е процесът ППД с тороидална деформираща ролка на цилиндрични образци от алуминиева сплав 2024-T3. Предвид корелацията между микротвърдостта и уякчаването в повърхностните слоеве, е изследвано влиянието на геометричните параметри на ролката и деформиращата сила върху еквивалентната пластична деформация и дълбочината на пластично деформираната зона. За целта е проведен планиран числен експеримент, базиран върху разработен 3D крайно-елементен модел на изследвания процес. На тази основа са получени регресионни модели на максималната еквивалентна пластична деформация на повърхността и в дълбочина и дълбочината на пластично деформираната зона. На основа на регресионните модели, използвайки QStatLab, е проведена многоцелева оптимизация на процеса. Дефинирани са геометричните параметри на деформиращата ролка и деформираща сила, осигуряващи максимално уякчаване на повърхността и в дълбочина.

The object of research in this work is the SPD process with a single toroidal roller of cylindrical samples of aluminum alloy 2024-T3. Considering the correlation between the micro-hardness and the hardening in the surface layers, the influence of the geometrical parameters of the roller and the burnishing force on the equivalent plastic deformation and the depth of the plastically deformed zone was investigated. For this purpose, a planned numerical experiment was conducted, based on a developed 3D finite element model of the researched process. On this basis, regression models of the maximum equivalent plastic deformation at the surface and in depth and the depth of the plastically deformed zone were obtained. Based on the regression models, using QStatLab, a multi-objective optimization of the process was carried out. The geometric parameters of the toroidal roller and burnishing force are defined, providing maximum hardening on the surface and in depth.

4.Г.7. **Anchev A.**, Improvement of surface micro-hardness of 41Cr4 steel by means of surface plastic deformation. Journal of Technical University Gabrovo. 58 (2019) 16-19. ISSN 1310-6686

Диамантното заглаждане (ДЗ) и заглаждането посредством тороидална ролка (ТР) са статични механични методи за повърхностна обработка, базирани на повърхностно пластично деформиране на конструкционните елементи и са предназначени да подобрят Surface integrity (SI) на тези елементи. Тази статия представя резултатите от сравнението между ДЗ и ТР по критерий получена „микротвърдост“. Благодарение на контакта триене при плъзгане, ДЗ постига значително по-голяма микротвърдост в сравнение с ТР. Значителното увеличаване на силата на притискане води до леко повишаване на получената микротвърдост.

Slide burnishing (SB) and roller burnishing (RB) are static mechanical surface treatment methods, based on surface plastic deforming of the metal components and intended to improve the surface integrity (SI) of these components. This article presents the outcomes of comparison between slide diamond burnishing and RB under “micro-hardness” criterion. Due to the sliding friction contact, SB achieves significantly bigger micro-hardness compared to RB. The significant increase of burnishing force leads to slightly increase of the micro-hardness.

4.Г.8. **Dunchev V., Anchev A.**, Experimental study of the roughness of low carbon, medium carbon and tool steel after diamond burnishing. Journal of Technical University Gabrovo. 58 (2019) 26-32. ISSN 1310-6686

В статията е изследван процесът на диамантно заглаждане на цилиндрични образци, изработени от три вида конструкционни стомани (нисковъглеродна стомана S235, средно въглеродна стомана 45 и инструментална стомана Y8A). Обект на изследване е влиянието на параметрите на процеса върху получената грапавост. Основните технологични параметри (сила

на притискане, радиус на върха на диаманта, подаване и брой преходи) са изследвани чрез експериментален подход. За целта е разработена методика включваща три етапа. В резултат на първия етап са определени петте най-добри комбинации за силата на притискане и радиуса на върха на диаманта при постоянна скорост и подаване. На тази основа във втория етап е изследвано влиянието на подаването. След приключване на втория етап са определени оптималните основни параметри на процеса диамантно заглаждане, осигуряващи минимална грапавост. В третия етап е изследвано влиянието на броя на преходите. Броят на преходите варира между един и осем прехода за два вида работни схеми – еднопосочна и разнопосочна схема. При еднопосочната схема на реализиране на процеса е получена минималната грапавост $R_a = 0.109 \mu m$ за инструменталната стомана. За трите изследвани стомани подобриенето на грапавостта е по-голямо при еднопосочната работна схема. Разнопосочната схема не се препоръчва за стомана S235, тъй като получената грапавост е с минимална стойност след първия преход. В условията на разнопосочната схема на работа за средно въглеродна стомана 45 грапавостта намалява до шестия преход, след което се увеличава. Това намаление обаче е 19%, докато при еднопосочната схема достига 31%. Както и при прилагането на процеса диамантно заглаждане върху други материали, експерименталните резултати потвърждават, че факторите от с най-голяма тежест за получаваната грапавост са силата на притискане и радиусът на върха на диаманта.

In this article the slide burnishing process of cylindrical specimens made of three types of constructional steels (S235 low carbon steel, 45 medium carbon steel and Y8A tool steel) has been studied. The object of this study is the process parameters influence on the roughness obtained. The basic parameters (burnishing force, diamond's tip radius, feed rate and number of passes) have been studied through experimental approach. For that purpose three stages methodology has been developed. As a result of the first stage, the five best combinations for the burnishing force and the diamond's tip radius under constant velocity and feed rate conditions have been determined. On this basis, in the second stage the feed rate impact has been examined. After the second stage end, the optimal basic parameters of the diamond burnishing process providing minimum roughness have been determined. The impact of number of passes has been studied in the third stage. The number of passes varies between one and eight passes for two kind of schemes – one-way and two-way scheme. Under one-way diamond burnishing scheme the minimum roughness $R_a = 0.109 \mu m$ has been obtained for the tool steel. For the three steels studied, the improvement in roughness is greater for the one-way working scheme. The two-way scheme is not recommended for S235 steel because the roughness obtained is minimal after one pass. In the conditions of two-way working scheme for 45 medium carbon steel the roughness decreases to six passes, then increases. However, this reduction is 19%, while in a one-way scheme it reaches 31%. As with other burnishing processes, the experimental results confirm that the factors of greatest importance for the roughness obtained are the burnishing force and the diamond's tip radius.

4.Г.9. Г. В. Дунчева, А. П. Анчев, Т. П. Атанасов, Jiri Сарек. 3D крайно-елементно изследване на остатъчните напрежения в образци от алуминиева сплав 2024-T3 подложена на ППД с тороидална ролка. *Машиностроене и машинознание*. 30 (1). 2020. 39-43. ISSN 1312-8612.

В тази работа са изследвани остатъчните напрежения в цилиндрични образци от алуминиева сплав 2024-T3, подложени на ППД с тороидална деформираща ролка. За изследване на влиянието на деформиращата сила и подаването върху разпределението на окръжните и осовите остатъчни напрежения са проведени числени симулации. За целта е разработен 3D крайно-елементен (KE) модел, като е използван метода на инверсията спрямо системата деформираща ролка–заготовка. Процесът е симулиран чрез взаимодействие на заготовката с 9 еднакви деформиращи ролки, позиционирани в осово направление на разстояния, равни на съответната стойност на подаването. Необходимото деформиращо въздействие на ролките е осигурено чрез контрол по преместване. На база на KE резултати е установена противоположна тенденция за влиянието на подаването върху окръжните и осови ОН – с нарастване на подаването окръжните остатъчни напрежения на повърхността намаляват, а осовите нарастват. За

верификация на КЕ модел е проведен X-ray diffraction анализ. КЕ и експериментални резултати потвърждават наличието на значителна натискава зона в повърхностните слоеве.

In this work, the residual stresses in cylindrical samples of aluminum alloy 2024-T3 subjected to surface plastic deformation with a single toroidal roller were investigated. Numerical simulations were carried out to investigate the influence of the burnishing force and the feed on the distribution of hoop and axial residual stresses. For this purpose, a 3D finite element (FE) model was developed, using the inversion method for the single roller-workpiece system. The process is simulated by interaction of the workpiece with 9 identical deforming rollers positioned in the axial direction at distances equal to the corresponding feed value. The necessary burnishing effect of the rollers is provided by displacement control. On the basis of KE results, an opposite tendency was established for the influence of the feed on the hoop and axial residual stresses - with an increase in the feed, the hoop residual stresses on the surface decrease, and the axial ones increase. X-ray diffraction analysis was performed to verify the FE model. FKE and experimental results confirm the presence of a significant compression zone in the surface layers.

4.Г.10. Т. П. Атанасов, **А. П. Анчев**, Вл. П. Дунчев. Експериментално изследване на получената грапавост в образци от алуминиева сплав 2024-T3, подложени на ППД с тороидална ролка. *Машиностроене и машинознание*.30 (2020). 44-48. ISSN 1312-8612.

Проведен е натурен експеримент за определяне на оптималните стойности на технологичните параметри на процеса ППД с тороидална ролка по критерий минимална грапавост, върху образци от високояка алуминиева сплав 2024-T3. Конструирано е ново устройство, с разширен обхват на силата на притискане. Методът се реализира върху конвенционални и CNC метало-обработващи машини, като осигурява подходяща съвкупност от свойства на повърхностния слой, т.н. Surface Integrity: ниска грапавост, големи по абсолютна стойност остатъчни напрежения на натиск, висока микротвърдост и висока точност на размерите и формата. Постигната е минимална грапавост от $R_a = 0.085 \mu\text{m}$, което удовлетворява критериите за процеса полиране.

A full-scale experiment was conducted to determine the optimal values of the technological parameters of the surface plastic deformation process with a single toroidal roller according to the criterion of minimum roughness, on samples of high-strength aluminum alloy 2024-T3. A new device has been constructed, with an extended range of burnishing force. The method is implemented on conventional and CNC metalworking machines, providing a suitable set of properties of the surface layer, the so-called Surface Integrity: low roughness, high residual compressive stresses in absolute value, high microhardness and high dimensional and shape accuracy. A minimum roughness of $R_a = 0.085 \mu\text{m}$, which satisfies the criteria for the polishing process, was achieved.

4.Г.11. Duncheva G., **A. Anchev**, D. Drumeva. Diamond Burnishing process efficiency to increase the wear resistance of sliding bearing bushing made of CuAl8Fe3 bronze. *Journal of Technical University Gabrovo*. 62 (2021) 3-10. ISSN 1310-6686.

В тази статия обект на експериментално изследване е износоустойчивостта на плъзгащи лагери, изработени от бронз CuAl8Fe3 след диамантно заглаждане (ДЗ). Проведени са трибологични изследвания в условия на гранично и сухо триене. За да се оцени ефективността на процеса на ДЗ, е направено сравнение на характеристиките на износване на три групи образци: обработени само чрез рязане, подложени на ДЗ с един преход; подложени на ДЗ с шест прехода. Доказано е, че в условията на гранично триене, образецът подложен на ДЗ с шест прехода има 2,27 пъти по-висока износоустойчивост в сравнение с износоустойчивостта на образца, обработен чрез рязане, и 1,42 пъти по-висока износоустойчивост от образца, подложен на ДЗ с един преход. В условия на сухо триене образецът, подложен на ДЗ с един преход, има 2,45 пъти по-висока устойчивост на износване от износоустойчивостта на образца, обработен чрез рязане, и

по-ниска износоустойчивост от образца, подложен на ДЗ с шест прехода. Прилагането на ДЗ с шест прехода води до 2,3 пъти по-висока износоустойчивост в условия на сухо триене в сравнение с конвенционалния случай на обработка на отвори.

In this article, the object of the experimental study is wear resistance of sliding bearing bushings made of CuAl8Fe3 bronze after diamond burnishing. Tribological studies were performed under boundary lubricant conditions and dry friction conditions. In order to evaluate the efficiency of the diamond burnishing process, a comparison of the wear characteristics of three groups of specimens was made: treated only by cutting, subjected to diamond burnishing with one pass; subjected to diamond burnishing with six passes. It has been proved that under boundary lubricant conditions, the specimen subjected to diamond burnishing with six passes has 2.27 times higher wear resistance compared to the wear resistance of the specimen treated by cutting, and 1.42 times higher wear resistance than that of the specimen subjected to diamond burnishing with one pass. Under dry friction conditions, the specimen subjected to diamond burnishing with one pass has 2.45 times higher wear resistance than the wear resistance of the specimen treated by cutting, and lower wear resistance than that of the specimen subjected to diamond burnishing with six passes. Applying of diamond burnishing with six passes leads to 2.3 times higher wear resistance under dry friction conditions compared to the conventional case of holes machining.

4.Г.12. **A. Anchev.** Enhancement of fatigue strength of bronze CuAl9Fe4 via diamond burnishing. Journal of Technical University Gabrovo. 62 (2021) 24-28. ISSN 1310-6686.

Алуминиевите бронзи са цветни сплави, характеризиращи се с добра якост, износоустойчивост и устойчивост на корозия, поради което тези бронзи са предпочитани конструкционни материали за различни приложения. При съдържание на алуминий над 9% може да се извърши термична обработка с цел подобряване на механичните свойства – якост на опън, якост на умора. По-нататъшното повишаване на якостта на умора може да се осъществи чрез повърхностна пластична деформация. Един от методите за това е диамантното заглаждане (ДЗ). Статията показва ефекта от използването на ДЗ върху поведението на умора на образци, изработени от алуминиев бронз CuAl9Fe4. ДЗ с един преход повишава ограничената граница на умора с 11,9% - от 420 на 470МПа. В същото време уморната дълготрайността се увеличава повече от 40 пъти. Увеличаването на броя на преходите от един на шест увеличава ефекта на ДЗ по отношение на уморното поведение - ограничената граница на умора се увеличава от 420 на 490 МПа, т.е. с 16,7%, а уморната дълготрайност се увеличава повече от 77 пъти. Въз основа на резултатите от уморните тестове се стига до заключението, че ДЗ е ефективен, надежден и икономичен метод за увеличаване на якостта на умора и съответно на уморната дълготрайност на конструкционни елементи от алуминиев бронз CuAl9Fe4.

Aluminum bronzes are non-ferrous alloys characterized by good strength, wear resistance and corrosion resistance, because of which these bronzes are preferred construction materials for various applications. When the aluminum content is over 9%, heat treatment can be performed in order to improve the mechanical properties - tensile strength, fatigue strength. Further increase of fatigue strength can be realized by means of surface plastic deformation. One method of this is diamond burnishing. The article shows the effect of using diamond burnishing on the fatigue behavior of samples made of CuAl9Fe4 bronze. DB with one pass increases the limited fatigue strength by 11.9% - from 420 to 470MPa. At the same time, the fatigue life increases more than 40 times. Increasing the number of passes from one to six increases the effect of DB in terms of fatigue behavior - the limited fatigue strength increases from 420 to 490 MPa, i.e., by 16.7%, and the fatigue life increased more than 77 times. Based on the results from the fatigue tests, it was concluded that DB is an effective, reliable and economical method for increasing the fatigue strength and, respectively, the fatigue life of CuAl9Fe4 aluminum bronze components.

4.Г.13. **A. Anchev.** Effect of diamond burnishing process on the treated surface topography of specimens made of CuAl8Fe3 aluminium bronze. Journal of Technical

Алуминиевият бронз CuAl8Fe3 притежава добра якост, износоустойчивост и корозионна устойчивост, включително в солена вода. Наличието на желязо води до издребняване на зърното, което придава допълнителна здравина на тази сплав. По този начин алуминиевия бронз е предпочитан конструкционен материал за различни приложения, включително в корабостроенето. Тъй като той не се подлага на термична обработка, поради по-ниското съдържание на алуминий, параметрите на Surface integrity (SI) се подобрява чрез пластична деформация. Статията разглежда диамантното заглаждане (ДЗ) на алуминиев бронз CuAl8Fe3. Обект на изследване е повърхностната топография (ПТ). Обикновено не всички параметри на ПТ се използват на практика. Параметърът R_a е един от най-използваните в за оценка при процесите на производство и в процеса на контрол на качеството поради лесното му измерване. Този параметър обаче не е достатъчен, за да опише характеристиките на ПТ, от която до голяма степен зависят експлоатационните свойства на съответния конструкционен елемент. Статията разглежда ефекта на ДЗ върху осем параметъра на ПТ - шест височинни параметъра и два параметъра на формата. Въз основа на получените резултати се прогнозира поведението на съответния конструкционен елемент от гледна точка на износоустойчивост.

CuAl8Fe3 aluminum bronze possesses good strength, wear resistance and corrosion resistance, including in salt water. The presence of iron leads to grain refinement, which gives extra strength to this alloy. Thus, this bronze is the preferred construction material for various applications, including marine. As this bronze is not subjected to heat treatment due to the lower aluminum content, surface integrity (SI) is improved by cold work. The article deals with diamond burnishing (DB) of CuAl8Fe3 bronze. The object of study is the surface topography (ST). Usually not all ST parameters are used in practice. The parameter R_a is one of the most used in the production process and in the process of quality control due to its easy measurement. However, this parameter is not sufficient to describe the features of the surface texture, on which the performance properties of the respective component largely depend. The article examines the effect of DB on eight ST parameters - six height and two shape parameters. Based on the obtained results, the behavior of the respective component is predicted from the point of view of wear resistance.

4.Г.14. **A. Anchev.** D. Drumeva. Experimental study of friction coefficient in diamond burnishing of CuAl8Fe3 bronze. Journal of Technical University Gabrovo. 62 (2021) 34-37. ISSN 1310-6686.

Статията представя резултатите от експериментално изследване за определяне на коефициента на триене при процеса на диамантно заглаждане на образци от бронзова сплав CuAl8Fe3. Експерименталното изследване е извършено върху струг С11 с помощта на специално разработено устройство, измерващо провисването на греда посредством тензосистема. Изследваният процес на диамантно заглаждане е реализиран чрез деформиращ инструмент със сферичен връх от поликристален изкуствен диамант. Експерименталното изследване е проведено в диапазона на скорост на плъзгане $v=43-172m/min$. Извършен е регресионен анализ и е получен математичен модел на коефициента на триене в зависимост от скоростта на плъзгане.

The article presents the results from an experimental study to determine the friction coefficient in diamond burnishing process of specimens made of CuAl8Fe3 bronze alloy. The experimental study was performed on a lathe C11 using a specially developed device containing a strain gauge beam. The studied burnishing process was implemented through a deforming tool with a spherical tip made of polycrystalline artificial diamond. The experimental study was performed in the range of sliding velocity $v = 43 - 172m/min$. A regression analysis was performed and a mathematical model of the friction coefficient depending on the sliding velocity was obtained.

4.Г.15. **A. Anchev.** Influence of the process parameter on the micro-hardness obtained of diamond burnished AISI 304L stainless steel. Journal of Technical University Gabrovo. 64 (2022) 45-49. ISSN 1310-6686.

Хром-никелови аустенитни неръждаеми стомани се използват в много индустриални области поради тяхната добра якост, отлична устойчивост на корозия, лесно пластично деформиране и добра заваряемост. Ниската им твърдост, лошите трибологични свойства и възможността за възникване на корозия в специфични среди могат да ограничат употребата им. В температурния диапазон 500-700°C тези стомани са уязвими на междукристална корозия. В резултат на това конвенционалните химико-термични обработки, като азотиране и цементиране, могат да увеличат повърхностната твърдост, но за сметка на устойчивостта на корозия поради образуването на хромови карбиди. Този недостатък се преодолява чрез нискотемпературно азотиране и цементиране, които се осъществяват при температури под 500°C, но тези обработки са сравнително скъпи. Аустенитът лесно повишава своята твърдост при пластична деформация. При по-висока степен на пластична деформация аустенитът частично се превръща в α' -мартензит, като неговата твърдост се увеличава значително. Статията представя резултати за повърхностната микротвърдост на цилиндрични образци от хром-никелова аустенитна стомана AISI 304L, обработени с диамантно заглаждане, което е евтина екосъобразна технология. Експериментът е извършен на конвенционален струг С11, като пластичното деформиране се реализира посредством инструмент с еластична основа на диамантния сферичен връх, позволяващ регулиране на силата на притискане. Микротвърдостта, получена след фино струговане на образците от 366 HV_{0,05}, е увеличена до 609 HV_{0,05} чрез диамантно заглаждане, т.е. увеличението е 66,4%.

Chromium-nickel austenitic stainless steels are used in many industrial fields due to their good strength, excellent corrosion resistance, easy deformation in the plastic field and good weldability. Their low hardness, poor tribological properties and the possibility of localized corrosion in specific environments may limit their use. In the temperature range 500-700°C these steels are vulnerable to inter-granular corrosion. As a result, the conventional chemical-thermal treatments, such as nitriding and carburizing, can increase the surface hardness, but at the expense of the corrosion resistance due to the formation of chromium carbides. This disadvantage is overcome by low-temperature nitriding and carburization, which are realized at temperatures below 500°C, but these treatments are relatively expensive. As is well known, the austenite is easily hardened by cold plastic deformation. With a higher degree of plastic deformation, the austenite partially turns into alpha prime strain-induced martensite, where the hardness increases significantly. The article presents results for the surface micro-hardness of AISI 304L cylindrical steel specimens treated with diamond burnishing, which is a cheap green technology. The surface cold work was performed on C11 conventional lathe using a burning device with elastic fixation of the deforming polycrystalline diamond insert. The micro-hardness obtained after a previous fine turning of 366 HV_{0,05} was increased to 609 HV_{0,05} via diamond burnishing, i.e., the increase is 66.4%.