

**Резюмета на рецензираните публикации на български език и на
английски език на
гл. ас. д-р инж. Владимир Петров Дунчев
за участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“
в област на висше образование 5. Технически науки
професионално направление 5.1. Машинно инженерство
специалност „Строителна механика, съпротивление на материалите“**

B.1. Effect of slide burnishing parameters on fatigue performance of 2024-T3 high strength aluminium alloy

Abstract

The effect of slide burnishing (SB) on the high-cycle fatigue (HCF) performance of 2024-T3 high-strength aluminium alloy has been studied. After SB with optimum basic process parameters under ‘minimum roughness’ criterion, the 10^7 cycle fatigue strength increases with 25% – from 180 to 225 MPa, fatigue life is increased more than 50 times, and the roughness obtained reaches up to $R_a = 0.05 \mu\text{m}$. Further, various combinations of burnishing force and deforming element radius have been applied to reach maximum HCF performance despite roughness obtained. It has been established that with the optimum combination under ‘maximum HCF performance’ criterion, 10^7 cycle fatigue strength increases with 44% – from 180 to 260 MPa as the roughness obtained is $R_a = 0.25 \mu\text{m}$. This significant enhancement in the HCF performance is due to introduced beneficial residual compressive stresses. They shift the fatigue crack initiation site from surface to subsurface layers and, as a result, the nucleation and propagation of the first-mode fatigue cracks are retarded. In order to establish the fatigue limit (based on 2×10^8 cycles), a combined approach, based on limited Wöhler’s curve and Locatti’s method, has been applied. The fatigue limit of 2024-T3 high-strength aluminium alloy can be increased up to 250 MPa using SB with optimal basic parameters under ‘maximum HCF performance’ criterion.

B.1. Влияние на параметрите на диамантно заглаждане върху уморната дълготрайност на високояка алуминиева сплав 2024-T3

Резюме

Влиянието на диамантното заглаждане (ДЗ) върху многоцикловата умора на високояка алуминиева сплав 2024-T3 е изследвано. След ДЗ с оптимални основни параметри по критерии „минимална грапавост“, при 10^7 цикъла, якостта на умора е повишена с 25% - от 180 на 225 МПа, а уморната дълготрайност е увеличена с повече от 50 пъти, а измерената грапавост достига до $R_a = 0.05 \mu\text{m}$. След това са изследвани различни комбинации на деформиращата сила и радиуса на деформиращия елемент за достигане на максимална якост при многоциклова умора независимо от получената грапавост. Установено е, че при оптималната комбинация по критерий максимална якост при многоцикловата умора, границата на умора при 10^7 цикъла е повишена с 44% (от 180 до 260 МПа), при измерена грапавост $R_a = 0.25 \mu\text{m}$. Това значително повишаване на якостта на умора в многоцикловата област е породено от

въведените полезни натискови остатъчни напрежения. Те изместват формирането на уморната пукнатина от повърхността към подповърхностните слоеве, в резултат на което възникването и нарастването на уморни пукнатини от първи род се забавя. С цел да се определи границата на умора (базирана на 2×10^8 цикъла) е приложен комбиниран подход, базиран на кривата на Wöhler и метода на Locati. Границата на умора на високояка алуминиева сплав 2024-T3 се повишава до 250 МПа при използване на ДЗ с оптимални основни параметри по критерий максимална якост при многоцикловата умора.

B.2. Effect of slide burnishing method on the surface integrity of AISI 316Ti chromium–nickel steel

Abstract

Chromium–nickel steels are widely used in various fields of the engineering practice because of their increased corrosion resistance. One of the most used chromium–nickel steel is AISI 316Ti. It is known from the engineering practice that processing this steel by cutting creates difficulties and problems. However, there is no information regarding the effectiveness of the slide burnishing (SB) method in terms of quality of the processed surface of this chromium–nickel steel. A comprehensive experimental and FEM study of the surface integrity of slide burnished specimens made of AISI 316Ti austenitic stainless steel has been carried out. The effect of the SB parameters on the obtained roughness, microhardness, residual stress, fatigue strength (life) and wear resistance has been studied. A fully coupled thermal-stress FEM analysis has been conducted to be appreciated the effect of the generated temperature in SB process on the residual stress formation. The SB of AISI 316Ti steel achieves: roughness of $R_a = 0.055 \mu\text{m}$; microhardness increased by more than 32%; significant wear resistance; introduced residual stress with a maximum absolute value, which significantly exceeds the yield limit of the bulk material; increased fatigue strength by 38.9%; fatigue life increasing more than 385 times. The obtained experimental outcomes for the main characteristics of the surface integrity prove that SB can be successfully applied as a mixed burnishing for finishing symmetrical rotational components made of chromium–nickel steels.

B.2. Влияние на метода диамантно заглаждане върху surface integrity на хром-никелова стомана AISI 316Ti

Резюме

Хром-никеловите стомани се използват широко в различни области на инженерната практика поради повишената им устойчивост на корозия. Една от най-използваните хром-никелови стомани е AISI 316Ti. От инженерната практика е известно, че обработката на тази стомана чрез рязане създава трудности и проблеми. Няма обаче информация относно ефективността на метода диамантно заглаждане (ДЗ) по отношение на качеството на обработваната повърхност на тази хром-никелова стомана. Извършено е обширно експериментално и КЕ изследване на surface integrity върху образци подложени на ДЗ, изработени от аустенитна неръждаема стомана AISI 316Ti. Изследвано е влиянието на параметрите на процеса ДЗ върху получената грапавост, микротвърдост, остатъчни напрежения, якост на умора и износоустойчивост. Проведен е свързан термо-механичен КЕ анализ, с цел да оцени ефектът от генерираната температура при процеса ДЗ върху формирането на остатъчни напрежения. ДЗ на стомана AISI 316Ti осигурява: грапавост $R_a = 0,055$

мт; микротвърдостта се увеличава с повече от 32%; значително е повишена износоустойчивостта; въведените остатъчни напрежения по максимална абсолютна стойност значително надвишават границата на провлачване на основния материал; повишена е якостта на умора с 38,9%; уморната дълготрайност се увеличава повече от 385 пъти. Получените експериментални резултати за основните характеристики на surface integrity доказват, че ДЗ може успешно да се прилага като mixed burnishing за довършване на симетрични ротационни компоненти, изработени от хром-никелови стомани.

B.3. Impact of slide diamond burnishing additional parameters on fatigue behaviour of 2024-T3 Al alloy

Abstract

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 behavior 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.

B.3. Влияние на допълнителните параметри на диамантно заглаждане върху уморното поведение на алуминиева сплав 2024-T3

Резюме

Един от методите за увеличаване на уморната дълготрайност на ососиметрични ротационни метални компоненти е диамантното заглаждане (ДЗ). Този метод се прилага върху конвенционални машини и машини с цифрово-програмно управление с помощта на просто оборудване, което е основното му предимство. Основните параметри на ДЗ са радиус на деформирация инструмент, деформираща сила, подаване за оборот и скорост на плъзгане. Допълнителните са: брой на проходите, работна схема и условия на смазване. Ефектът от допълнителните параметри на ДЗ върху уморното поведение на алуминиева сплав 2024-T3 е експериментално проучен. Групи от стандартни и прорязани образци с форма на пясъчен часовник бяха ДЗ при

различни комбинации от допълнителни параметри и след това подложени на уморни тестове на огъване. Остатъчните напрежения, въведени от ДЗ, са измерени чрез X-ray diffraction. Изследвана е микроструктурата в близост до повърхността на обработени чрез ДЗ образци. Въз основа на получените резултати бе установено, че ДЗ въвежда два основни ефекта, които зависят от допълнителните му параметри. Същността на макроефекта е създаването на полезни натискови остатъчни напрежения в повърхностния и подповърхностните слоеве. Полезните остатъчни напрежения забавят образуването и нарастването на макропукнатините, което води до повишаване на уморната дълготрайност и по този начин увеличава живота на компонентите, обработени чрез ДЗ. Микроефектът се изразява в модифициране на микроструктурата на повърхностния и подповърхностните слоеве, съответно, издребняване на зърната, хомогенизиране и намаляване на порите в материала. Такава микроструктура се характеризира с повишена пластичност и устойчивост срещу възникване на уморни пукнатини. Уморната дълготрайност зависи от комбинацията от тези два ефекта. По този начин, желаното уморно поведение на обработен чрез ДЗ компонент може да бъде осигурено чрез подходящ подбор на управляващите допълнителни параметри.

B.4. Crack resistance enhancement of joint bar holes by slide diamond burnishing using new tool equipment

Abstract

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.

B.4. Повишаване на пукнатинуостойчивостта в наставови възли с отвори, посредством ДЗ, използвайки нов комбиниран инструмент

Резюме

Статията представя нова технология за обработване на отвори на настави. Наставите са компоненти от наставовите възли, чрез които релсите се свързват чрез болтови връзки. Те представляват критично място за зараждане и разрастване на уморни пукнатини, причинени от цикличното натоварване на преминаващи влакове. Вероятността от поява на пукнатини, стартиращи от вътрешните ръбове на отворите на наставите, е доказана чрез метода на крайните елементи (МКЕ). На

тази основа се обосновава необходимостта от нова технология за повишаване на устойчивостта от поява и развитие на уморни пукнатини в отвори на настави. Технологията включва като довършващо обработване диамантно заглаждане (ДЗ) на отворите. Разработен е нов комбиниран инструмент, който включва комбиниран режещ инструмент и устройство за ДЗ във вид на еластична греда, позволяващо да се управлява необходимата деформираща сила. Комбинираният инструмент е предназначен за фрезови металообработващи машини и обработващи машини с цифрово програмно управление. Оптималните параметри за режещия инструмент и инструмента за ДЗ са получени чрез планирани експерименти, регресионни анализи, генетичен алгоритъм и КЕ анализи. Разпределението на въведените полезни окръжни остатъчни напрежения е установено чрез провеждане на КЕ анализ на процеса ДЗ. Тези напрежения забавят зараждането и разрастването на уморни пукнатини по повърхността на отвора. Анализът на микроструктурата и уморните тестове доказват полезния ефект на тази технология, изразена чрез повишената устойчивост на поява на уморни пукнатини в отворите на настави.

B.5. Effect of cyclic hardening on fatigue performance of slide burnished components made of low-alloy medium carbon steel

Abstract

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.

B.5. Влияние на цикличното уякчаване върху уморната дълготрайност при нисколегирани средно-въглеродни стомани подложени на диамантно заглаждане

Резюме

Процесът диамантно заглаждане (ДЗ) предизвиква циклично натоварване на обработваната повърхност, което води до циклични уякчаване. Влиянието на броя на преходите и cyclic loading coefficient (CLC) (коефициентът на циклично натоварване) върху уморната дълготрайност при ДЗ са изследвани. Извършени са уморни тестове на въртеливо огъване, като са използвани девет групи стандартни образци с форма на пясъчен часовник, които са диамантно загладени с различни брой преходи и стойности на CLC. Стабилизираният цикъл на повърхностния слой, постигнат с шест прехода, води до най-голяма граница на умора, докато CLC оказва незначително влияние върху уморната дълготрайност. Наблюдаваното явление се обяснява чрез различните степени на релаксация на остатъчните напрежения, дължащи се на ротационния огъващ товар, както и на получената микроструктура в повърхностния слой.

Релаксацията на остатъчните напрежения е изследвана чрез уморни тестове на въртеливо огъване, използвайки цилиндрични образци, подложени в последствие на X-ray stress анализ.

B.6. Improvement in fatigue strength of 41Cr4 steel through slide diamond burnishing

Abstract

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.

B.6. Подобряване на якостта на умора на стомана 41Cr4 чрез диамантно заглаждане

Резюме

Диамантното заглаждане (ДЗ) е статична механична повърхностна обработка, основана на много голяма пластична деформация на повърхността, при която контакта между деформиращия инструмент и обработваната повърхност е триене при плъзгане. ДЗ подобрява значително surface integrity на метални структури и машинни компоненти. Тази статия е посветена на повишаване на якостта на умора на образци с форма на пясъчен часовник от стомана 41Cr4, подложени на ДЗ с деформиращ елемент с форма на сфера чрез различни комбинации на основните управляващи параметри. Тъй като въведените полезни натискови остатъчни напрежения играят основна роля за уморното поведение на ДЗ компоненти, е направено цялостно параметрично изследване на процеса ДЗ, използвайки свързан термо-механичен КЕ модел. Ефективността на КЕ модел е доказана чрез сравнение на резултатите от КЕ модел за остатъчните напрежения с такива, измерени чрез X-ray diffraction. Получените резултати показват, че радиусът на върха на диаманта и деформиращата сила имат най-голямо влияние върху остатъчните напрежения,

които от своя страна оказват значително влияние върху якостта на умора, съответно на уморната дълготрайност. Проведено е обширно експериментално изследване на ефекта на избраните основни параметри на ДЗ върху границата на умора на ДЗ образци, използвайки метода на Locatti. За целта е използвана хипотезата на Palmgren-Miner за линейните повреди, която е частен случай на общата теория за натрупани повреди. Проведен е планиран експеримент като управляващите фактори се менят на четири нива. Извършен е регресионен анализ на експерименталните резултати и е получен модел за прогнозиране на границата на умора. Въз основа на получения модел е извършена едноцелева оптимизация с помощта на генетичен алгоритъм. При оптимални стойности на основните параметри границата на умора е увеличена с 22,7% - от 440 до 540 МПа. Уморната дълготрайност е увеличена повече от 100 пъти при оптимални стойности на основните параметри.

B.7. Smoothing, deep, or mixed diamond burnishing of low-alloy steel components – optimization procedures

Abstract

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.

B.7. Заглаждащо (smoothing), дълбоко (deep) или смесено (mixed) диамантно заглаждане на нисколегирани стоманени компоненти – процедури за оптимизиране

Резюме

Диамантното заглаждане (ДЗ) е статична механична повърхностна обработка, основана върху много голяма пластична деформация на повърхността с цел за значително подобрене на surface integrity и експлоатационните свойства на обработения компонент. Много често ДЗ неоправдано е възприемано като типично заглаждащо повърхностно обработване. В настоящата статия е показано, че ДЗ може да бъде проведено като smoothing, deep или mixed burnishing в зависимост от конкретната комбинация на използваните управляващи фактори. Проведени са оптимизации на процеса ДЗ за стомана 41Cr4, с цел да се получат оптималните параметри на процеса ДЗ при различни критерии. Изборът на управляващите фактори и целевите функции (гравовост и граница на умора), които са получени на

база на планирани експерименти и регресионни анализи, са напълно обосновани. Посредством едноцелеви оптимизации са получени конкретните оптимални стойности на целевите функции и съответните оптимални стойности на управляващите фактори, осигуряващи реализиране на ДЗ като *smoothing* и *deep burnishing* процес. Нова оптимизационна процедура за решаване многоцелева задача е разработена, с цел да се получат компромисни оптимални стойности едновременно за целевите функции и управляващите фактори при *mixed* ДЗ. За да се подчертаят предимствата на предложената процедура за оптимизация, многоцелевото решение на задачата се сравнява с резултатите, получени чрез някои известни методи, като метод на тегловния вектор и метода, базиран върху функция на загубите.

B.8. Slide burnishing versus deep rolling—a comparative analysis

Abstract

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.

B.8. Сравнителен анализ между диамантно заглаждане и deep rolling

Резюме

Тази статия включва резултатите от сравнителен анализ, включващ три статични процеса за повърхностно пластично деформиране: диамантно заглаждане (ДЗ), roller burnishing (RB) и deep rolling (DR). Използваният материал е стомана 41Cr4. Използваните методи са: свързан термо-механичен крайно-елементен (KE) модел и натурни експерименти. Използвайки едни и същи стойности на управляващите фактори, основната разлика между сравняваните процеси е видът на контакта между деформиращия елемент и обработваната повърхност – триене при плъзгане при ДЗ и триене при търкаляне при RB и DR. ДЗ е реализирано чрез поликристален диамант със сферичен накрайник, докато при RB и DR се провежда чрез тороидална ролка със същата големина на радиуса на тороидалната повърхнина, като тази на

радиуса на деформацията диамант. Обект на сравнение са процесите ДЗ, RB и DR, разглеждани като изменение на състоянието на термодинамични системи, както и получените surface integrities (SIs) на обработените образци и тяхното уморно поведение. Установено е, че три четвърти от външната работа при ДЗ се превръща в топлина в контактната зона „деформиращ елемент - детайл“, което води до така наречения смекчаващ ефект в повърхностните слоеве. Сравнението на енергийните баланси на изследваните процеси ясно демонстрира термо-механичния характер на процеса ДЗ, докато деформационните процеси RB и DR могат да се приемат за чисто механични. От друга страна, ДЗ осигурява по-ниска грапавост, значително по-голяма микротвърдост, по-големи в абсолютни стойности остатъчни напрежения на натиск, издробенна микроструктура и в резултат на това по-голяма якост на умора в сравнение с RB и DR.

B.9. A cost-effective optimization approach for improving the fatigue strength of diamond burnished steel components

Abstract

Diamond burnishing (DB) 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.

B.9. Икономически ефективен оптимизационен подход за повишаване на якостта на умора на диамантно загладени стоманени компоненти

Резюме

Диамантното заглаждане (ДЗ) е метод за модифициране на повърхността на метални компоненти, целящ да подобри surface integrity (SI) и експлоатационното им поведение. Разработен е икономически ефективен оптимизационен подход за повишаване на якостта на умора на метални компоненти, подложени на ДЗ. Основната идея е, че якостта на умора може да бъде контролирана като се контролират част от характеристиките на SI (повърхностна микротвърдост, дълбочина на уякчения слой и грапавост), измерването на които не е скъпо и времеемко. По този начин е решена многоцелева оптимизационна задача, използвайки метода на тегловния вектор. Управляващите фактори са радиуса на диаманта и силата на притискане. Получената граница на умора се различава от максималната граница на умора с 0.44%, което доказва ефективността на предложения подход. Получените резултати за границата на умора се обясняват посредством X-ray анализ

на въведените остатъчни напрежения и анализ на микроструктурата на повърхностните и подповърхностните слоеве. Установено е, че по-голямата дълбочина на афектираната зона, съчетана с по-малък градиент на промяна на микроструктурата в дълбочина, водят до по-голяма якост на умора.

B.10. Single toroidal roller burnishing of 2024-T3 Al alloy implemented as mixed burnishing process

Abstract

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 $R_a=0.1 \mu\text{m}$. STRB under these optimal conditions yields a relatively homogeneous surface in terms of micro-hardness with a surface micro-hardness 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.

B.10. Mixed burnishing процес, посредством тороидална ролка върху алуминиева сплав 2024-T3

Резюме

Въз основа на обширно експериментално изследване, процесът roller burnishing посредством тороидална ролка може успешно да се приложи като mixed burnishing процес върху алуминиева сплав 2024-T3. Оптималните стойности на различните управляващи фактори водят до минимална грапавост и значително повишаване на уморната дълготрайност на обработените образци. Чрез планиран експеримент, регресионен анализ и оптимизационна процедура, основана на генетичен алгоритъм, са определени оптималните стойности на управляващите фактори, при критерий минимална грапавост. Полученият модел прогнозира минимална грапавост $R_a=0.074 \mu\text{m}$. Експериментът с оптимални параметри на процеса води до средна грапавост $R_a=0.1 \mu\text{m}$. Roller burnishing посредством тороидална ролка при тези оптимални условия осигурява относително хомогенна повърхност в аспект на микротвърдост, с коефициент на повишаване на микротвърдостта 37.6 %. Параметричното изследване на осовите и окръжните остатъчни напрежения проведено чрез X-ray stress анализ показва, че roller burnishing посредством тороидална ролка при близки до оптималните стойности на параметрите води до значителни остатъчни напрежения. Roller burnishing посредством тороидална ролка, проведен върху алуминиева сплав 2024-T3, извършен като mixed burnishing процес води до: огледална повърхност, повишаване на уморната дълготрайност с повече от 2000 пъти и

повишаване на неограничената граница на умора с 35.1 % в сравнение с образци обработени само чрез рязане.

Г.1. Investigation of dynamic response of “bridge girder-telpher-load” crane system due to telpher motion

Abstract

The moving load causes the occurrence of vibrations in civil engineering structures such as bridges, railway lines, bridge cranes and others. A novel engineering method for separation of the variables in the differential equation of the elastic line of Bernoulli-Euler beam has been developed. The method can be utilized in engineering structures, leading to “a beam under moving load model” with generalized boundary conditions. This method has been implemented for analytical study of the dynamic response of the metal structure of a single girder bridge crane due to the telpher movement along the bridge girder. The modeled system includes: a crane bridge girder; a telpher, moving with a constant horizontal velocity; a load, elastically fixed to the telpher. The forced vibrations with their own frequencies and with a forced frequency, due to the telpher movement, have been analyzed. The loading resulting from the telpher uniform movement along the bridge girder is cyclical, which is a prerequisite for nucleation and propagation of fatigue cracks. The concept of “dynamic coefficient” has been introduced, which is defined as a ratio of the dynamic deflection of the bridge girder due to forced vibrations, to the static one. This ratio has been compared with the known from the literature empirical dynamic coefficient, which is due to the telpher track unevenness. The introduced dynamic coefficient shows larger values and has to be taken into account for engineering calculations of the bridge crane metal structure. In order to verify the degree of approximation, the obtained results have been compared with FEM outcomes. An additional comparison has been made with the exact solution, proposed by Timoshenko, for the case of simply supported beam subjected to a moving force. The comparisons show a good agreement.

Г.1. Изследване на динамичното поведение на системата „главна греда – телфер – товар“ вследствие движение на телфера

Резюме

Подвижният товар причинява появата на вибрации в строителните инженерни конструкции като мостове, железопътни линии, мостови кранове и други. Разработен е нов инженерен метод за разделяне на променливите в диференциалното уравнение на еластичната линия на Бернули-Ойлер греда. Методът може да се използва при инженерни конструкции, при които „товарът се движи по греда“ с обобщени гранични условия. Този метод е приложен за аналитично изследване на динамичната реакция на металната конструкция на едностранен мостов кран при движение на телфер по гредата на крана. Моделираната система включва: главна греда на крана; телфер, движещ се с постоянна хоризонтална скорост; товар, еластично фиксиран към телфера. Анализирани са принудените колебания със собствени честоти и с принудена честота, дължащи се на движението на телфера. Натоварването в резултат на равномерно движение на телфера по мостовата греда е циклично, което е предпоставка за зараждане и разрастване на уморни

пукнатини. Въведено е понятието „динамичен коефициент“, дефинирано като отношение между динамичното провисване на мостовата греда, породено от принудени вибрации, и статичното провисване. Това отношение е сравнено с познатия от литературата емпиричен динамичен коефициент, който отчита неравността на телферната следа. Въведеният динамичен коефициент показва по-големи стойности и трябва да се вземе предвид при инженерните изчисления на металната конструкция на мостовия кран. За да се провери верността на получените резултати, те са сравнени с резултати, получени чрез МКЕ. Направено е допълнително сравнение с точното решение, предложено от Тимошенко, за случая на проста греда, подложена на движеща се сила. Сравненията показват добро съвпадение.

Г.2. Effect of ion nitriding on fatigue behavior of steel 35HGS

Abstract

In this article the fatigue behavior of specimens made of 35HGS low-alloyed steel has been investigated. A comparative analysis has been made for the effect of hardening process with subsequent grinding and ion nitriding process. For this purpose, five groups of specimens have been manufactured. The first group of specimens has been subjected to hardening and grinding. The other four groups of specimens have been subjected to ion nitriding with a different process duration - 4, 8, 12 and 16 hours, respectively. The experimental study has been conducted in two stages- cyclic bending fatigue tests and residual stresses assessment through X-ray diffraction analysis. It has been established that the ion nitriding process has a more favorable effect on fatigue life in the field of high-cycle fatigue compared to the quenching process followed by grinding. The positive effect by the quenching and grinding has been observed in the field of low- cycle fatigue. The highest fatigue limit ($\sigma_{-1} = 800 \text{ MPa}$) has been obtained for the specimens subjected to ion nitriding for a duration of 4 hours. The X-ray diffraction results show that the ion nitriding process provides greater in absolute value compressive residual stresses compared to the quenching and grinding process. It has been established that the distribution in depth of the axial and hoop residual stresses created after ion nitriding is very similar. A different trend has been established between the obtained fatigue limits and the intensity of the compressive residual stress zone.

Г.2. Влияние на йонно азотиране върху уморното поведение на стомана 35HGS

Резюме

В тази статия е изследвано уморното поведение на образци, изработени от нисковъглеродна стомана 35HGS. Направен е сравнителен анализ на ефекта от процеса закаляване с последващо шлифоване и процеса йонно азотиране. За тази цел са изработени пет групи от образци. Първата група от образци е закалена и шлифвана. Останалите четири групи образци са подложени на йонно азотиране с различна дълготрайност на процеса, респективно 4, 8, 12 и 16 часа. Експерименталното изследване е проведено на два етапа – уморни тестове при въртеливо огъване и оценка на остатъчните напрежения чрез X-ray diffraction анализ. Установено е, че процеса йонно азотиране има благоприятен ефект върху уморно поведение при многоцикловата умора в сравнение с процеса закаляване и шлифоване. Позитивният ефект от процеса закаляване и шлифоване е изразен в зоната на малоцикловата умора. Най-голяма граница на умора ($\sigma_{-1} = 800 \text{ MPa}$) е отчетена при групата образци, подложени на йонно азотиране с времетраене на процеса 4 часа. Резултатите от X-ray diffraction

анализа показват, че следствие процеса йонното азотиране се получават по-големи по абсолютна стойност натискови остатъчни напрежения в сравнение с процеса закаляване и шлифоване. Установено е, че разпределението в дълбочина на осовите и окръжните остатъчни напрежения е много подобно. Установено е, че има разлика в трендовете между получените граници на умора и зоната в дълбочина на полезните остатъчни натискови напрежения.

Г.3. Experimental study of the roughness of low carbon, medium carbon and tool steel after diamond burnishing

Abstract

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 ($R_a = 0,109 \mu\text{m}$) 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.

Г.3. Експериментално изследване относно грапавостта на нисковъглеродна, средновъглеродна и инструментална стомана след диамантно заглаждане

Резюме

В тази статия е изследвано влиянието на процеса ДЗ върху цилиндрични образци, изработени от три вида конструкционни стомани (S235 нисковъглеродна стомана, 45 средновъглеродна стомана и Y8A инструментална стомана). Целта на това изследване е влиянието на параметрите на процеса върху получената грапавост. Основните параметри (деформираща сила, радиус на диамантния крайник, подаване и брой на преходите) са изследвани експериментално. За тази цел е разработена триетапна методология. В резултат на първия етап са определени петте най-добри комбинации за деформиращата сила и радиуса на диамантния крайник при постоянна скорост и подаване. На база първия етап, във втория етап е изследвано влиянието на подаването. В края на втория етап са определени оптималните основни параметри на процеса диамантно заглаждане, осигуряващи минимална грапавост. Влиянието на броя на преходите е изследвано в третия етап.

Броя на преходите варира от един до осем за две схеми на прилагане – еднопосочна и разнопосочна. При еднопосочна схема на диамантно заглаждане минимална грапавост ($R_a = 0,109 \mu m$) е получена за инструменталната стомана. И за трите вида стомани еднопосочната схема подобрява грапавостта, докато разнопосочната схема при диамантно заглаждане не води до добри резултати за стомана S235, тъй като минимална грапавост се получава след първия преход, а след това се влошава. При прилагане на разнопосочната схема за средно-въглеродна стомана 45 грапавостта намалява до шестия преход, след което започва да се повишава. Въпреки това, подобрението е само с 19%, докато при еднопосочната схема достига 31%. Както и при други статични процеси за ППД, експерименталните резултати потвърждават, че параметрите с най-голямо влияние върху получената грапавост, са деформиращата сила и радиусът на диамантния накрайник.

Г.4. Comprehensive model of the micro-hardness of diamond burnished 41Cr4 steel specimens

Abstract

Diamond burnishing (DB), based on severe plastic deformation of the surface layer, improves the surface integrity (SI) of metal components and thus, enhances their operating properties. The microhardness is one of the mechanical characteristics of the SI. The increased microhardness due to DB is a precondition for improved wear and fatigue crack resistance of the treated component. The article presents a comprehensive experimental mathematical model which predicts the microhardness distribution in depth from the surface depending on the diamond insert radius and burnishing force. The selection of the significant governing factors is based on previous study. The experimental model is based on a fourth-order one-dimensional polynomial whose variable is the depth and the coefficients are functions of the two governing factors.

Г.4. Подробен модел на микротвърдостта на образци от стомана 41Cr4 подложени на диамантно заглаждане

Резюме

Диамантното заглаждане (ДЗ), основано на много голяма пластична деформация на повърхностните слоеве, подобрява surface integrity (SI) на метални компоненти, като подобрява техните експлоатационни свойства. Микротвърдостта е една от механичните характеристики на SI. Повишената микротвърдост след ДЗ е предпоставка за подобрена износоустойчивост и повишена уморна дълготрайност на третирания компонент. Статията представя разширен експериментален математичен модел, който предсказва разпределението на микротвърдостта в дълбочина от повърхността, в зависимост от радиуса на диамантния накрайник и деформиращата сила. Изборът на значимите управляващи фактори се основава на предишно проучване. Експерименталният модел се основава на едномерен полином от четвърти ред, с променлива дълбочината от повърхността, а коефициентите са функции на двата управляващи фактора.

Г.5. Finite element simulations of static mechanical surface treatment processes – a review and prospects

Abstract

This article reviews finite element (FE) simulations of static mechanical surface treatment (MST) processes for metal components. These static burnishing methods, based on severe plastic deformations of the surface and subsurface layers, improve the surface integrity (SI) of the respective components dramatically and thus their operational properties. The finite element method (FEM) is a basic method used for numerical investigations of MST processes. Although FEM always requires experimental verification and an experiment to establish an adequate material constitutive model, this method saves the researcher significant time and resources. In this article, a comprehensive analysis of the published studies devoted to FE simulations of static MST processes has been conducted. Based on the analysis, five basic conditions have been established in order to build an adequate FE model of the static burnishing process.

Г.5. Крайно-елементни симулации на статични mechanical surface treatment процеси – обзор и перспективи

Резюме

Тази статия прави обзор на крайно-елементите (КЕ) симулации на статични Mechanical Surface Treatment (MST) процеси на метални компоненти. Тези статични методи за повърхностна обработка, основани на много голяма пластична деформация на повърхностните и подповърхностните слоеве, подобряват драстично surface integrity (SI) на съответните компоненти, както и техните експлоатационни свойства. Методът на крайните елементи (МКЕ) е основен метод, използван за числени изследвания на MST процеси. Въпреки че МКЕ винаги изисква експериментална проверка за установяване на адекватен конститутивен модел на материала, този метод спестява на изследователя значително време и ресурси. В тази статия е извършен подробен анализ на публикуваните изследвания, посветени на КЕ симулации на статични MST процеси. С цел да се изгради адекватен КЕ модел на процеса статично пластично повърхностно деформиране, са установени пет основни условия на основа на проведеня анализ.

Г.6. Temperature-dependent constitutive model of the surface layer of 2024-T3 aluminum alloy subjected to surface plastic deformation

Abstract

A temperature-dependent constitutive model of 2024-T3 high-strength aluminum alloy is proposed, applying the "flow stress" concept. The model defines the relationship between the stress and strain tensors for a point of the surface layer subjected to surface plastic deformation (SPD). The model is developed on the basis of combined approach, which includes experimental test (identification test) and inverse finite element analysis of the experimental test. The developed constitutive model takes into account the temperature influence on the surface and sub-surface layers of 2024-T3 high-strength aluminum alloy in the range of $T = (50 \div 300) \text{ }^\circ\text{C}$. The model can be used for numerical simulations in order to study the stressed and strained state of components subjected to SPD and consequent mechanical and/or temperatural loads.

Г.6. Температуро-зависим конститутивен модел на повърхностния слой на алуминиева сплав 2024-T3 подложена на повърхностна пластична деформация

Резюме

Предложен е температуро-зависим конститутивен модел на високо-яка алуминиева сплав 2024-T3 на база на концепцията "flow stress". Моделът определя връзката между тензорите напрежение и деформация за точките от повърхностния слой, подложени на повърхностна пластична деформация (ППД). Моделът е разработен на базата на комбиниран подход, който включва експериментален тест (тест на проникване) и инверсен крайно-елементен анализ на експерименталния тест. Разработеният конститутивен модел взема в предвид влиянието на температурата върху повърхностния и подповърхностните слоеве на високо-яка алуминиева сплав 2024-T3 в температурния диапазон $T = (50 \div 300) \text{ }^\circ\text{C}$. Моделът може да се използва за числени симулации за изследване на напрегнатото и деформирано състояние на компоненти, подложени на ППД и последващи механични и / или температурни натоварвания.

Г.7. Experimental investigation of the roughness obtained in samples of aluminum alloy 2024-T3 subjected to SPD by means of toroidal roller

Abstract

A natural experiment was conducted to determine the optimal values of the technological parameters of the SPD process with a toroidal roller by the criterion of minimum roughness, on samples of high-strength aluminum alloy 2024-T3. A new tool equipment is developed, with extended range of the burnishing force. The method could be used onto conventional and CNC metalworking machines, providing a suitable set of the properties of the surface layer, so called Surface Integrity: low roughness, high absolute residual compressive stresses, high micro-hardness and high dimensional and shape accuracy. Minimal roughness of $R_a=0.085 \text{ }\mu\text{m}$ is achieved, which satisfies the criteria for the polishing process.

Г.7. Експериментално изследване на получената грапавост в образци от алуминиева сплав 2024-T3, подложена на ППД с тороидална ролка

Резюме

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 високо-яка алуминиева сплав 2024-T3. Конструирано е ново устройство с разширен обхват на силата на притискане. Методът се реализира върху конвенционални и CNC металообработващи 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 $R_a=0.085 \text{ }\mu\text{m}$, което съответства на процеса полиране.

Г.8. Modeling and optimization of the roughness and micro-hardness in diamond burnishing of CuAl9Fe3 bronze

Abstract

In this article, the object of the experimental study is diamond burnishing of cylindrical specimens made of bronze CuAl8Fe3 in terms of the roughness obtained and micro-hardness. For this purpose, planned experiment, analysis of variance and regression analysis were performed sequentially. The governing factors were the spherical surface radius of the diamond tip, burnishing force and feed rate. Based on the regression models obtained of the roughness and surface micro-hardness, one-objective optimizations under the minimum roughness criterion and maximum surface micro-hardness, and two-objective optimization of the studied process were conducted. As a result, the respective optimal values of the governing factors were established. Using the governing factor optimal values obtained from the two-objective optimization, the impact of the number of passes and working scheme (one-way or two-way) on the roughness obtained and surface micro-hardness was additionally studied. It was established that the implementation of the diamond burnishing process with four passes in the conditions of one-way operating scheme provides roughness of $R_a \approx 0.75 \mu\text{m}$ and surface micro-hardness of $HV_{0.05} \approx 305$.

Г.8. Моделиране и оптимизиране на грапавостта и микротвърдостта при диамантно заглаждане на бронз CuAl8Fe3

Резюме

Обект на експериментално изследване в тази статия е диамантното заглаждане на цилиндрични образци от бронз CuAl8Fe3 по отношение на получената грапавост и микро-твърдост. За тази цел са извършени последователно планиран експеримент, дисперсионен и регресионен анализ. Избраните управляващи фактори са радиуса на диамантния връх, силата на притискане и подаването. Въз основа на получените регресионни модели за грапавост и повърхностна микротвърдост, са проведени едноцелеви оптимизации по критерия за минимална грапавост и максимална повърхностна микротвърдост и двуцелева оптимизация на изследвания процес. В резултат са установени съответните оптимални стойности на управляващите фактори. Използвайки оптималните стойности на управляващите фактори, получени от двуцелевата оптимизация, допълнително е проучено въздействието на броя на проходите и работната схема (еднопосочна или разнопосочна) върху получената грапавост и повърхностната микротвърдост. Установено е, че изпълнението на процеса диамантно заглаждане с четири прохода в условията на еднопосочна работна схема осигурява грапавост $R_a \approx 0,75 \mu\text{m}$ и повърхностна микротвърдост $HV_{0,05} \approx 305$.

Г.9. Surface layer temperature-dependent constitutive model of bronze CuAl8Fe3, subjected to diamond burnishing

Abstract

In this article, the temperature-dependent constitutive model of CuAl8Fe3 bronze is developed, using the "flow stress" concept. The model defines the dependence between the stress and strain tensors for a point on the surface layer subjected to diamond burnishing. The adequacy of the chosen constitutive model was achieved by comparing the deformed state of the surface layer obtained via an experimental test (indentation test) and inverse finite element analysis of the experimental test. The developed constitutive model takes into account

the temperature influence on the surface and sub-surface layers of CuAl8Fe3 bronze in the range of (20 ÷ 250) ° C . The model serves the fully coupled thermal-stress finite element analysis in order to study the stressed and strained state in rotational components made of bronze CuAl8Fe3, subjected to diamond burnishing.

Г.9. Температурно-зависим конститутивен модел на повърхностния слой на бронз CuAl8Fe3, подложен на диамантно заглаждане

Резюме

В тази статия е разработен температурно-зависим конститутивен модел на CuAl8Fe3 бронз, използвайки концепцията "flow stress". Моделът дефинира зависимостта между тензорите напрежение и деформация за точките от повърхностния слой, подложени на диамантно заглаждане. Адекватността на избрания конститутивен модел е постигната чрез сравняване на деформираното състояние на повърхностния слой, получено чрез експериментален тест (indentation test) и инверсен крайно-елементен анализ на експерименталния тест. Разработеният конститутивен модел отчита температурното влияние върху повърхностните и подповърхностните слоеве на CuAl8Fe3 бронз в диапазона (20 ÷ 250) ° C. Моделът обслужва свързан термо-механичен крайно-елементен анализ, с цел да се изследва напрегнатото и деформирано състояние в ротационни компоненти, изработени от бронз CuAl8Fe3, подложени на диамантно заглаждане.

Г.10. Effect of diamond burnishing process velocity on 41Cr4 steel surface integrity

Abstract

Diamond burnishing (DB) is a static mechanical surface treatment process based on severe plastic deformation on the surface layer of the metal work-pieces. The main feature of the DB is that the tangential contact type between the diamond deforming element and the surface being treated - sliding friction contact. DB significantly reduces the roughness (up to mirror-finish surfaces), increases the surface microhardness, introduces the beneficial residual stresses and modifies the microstructure of the surface and subsurface layers in terms of grain refinement. Thus, DB dramatically improves the surface integrity (SI) of the metal components. The basic governing factors of the DB are the radius of the spherical-ended diamond, burnishing force, feed rate and burnishing velocities. This article presents the outcomes from the experimental investigation of the influence of sliding burnishing velocity on SI of 41Cr4 steel. It was established that the burnishing velocity influences slightly on the SI. The increased burnishing velocity leads to slightly decrease of the roughness obtained, slightly increase of the surface micro-hardness and a reduction of the surface axial residual stresses; in contrast with the residual axial stresses, the residual surface hoop stresses increase.

Г.10. Влияние на скоростта на плъзгане при диамантно заглаждане върху surface integrity за стомана 41Cr4

Резюме

Диамантното заглаждане (ДЗ) е статичен *mechanical surface treatment* процес, основан върху много голяма пластична деформация на повърхностния слой на метални заготовки. Основна характеристика на ДЗ е тангенциалният контакт между деформиращия диамантен елемент и обработваната повърхност - триене при плъзгане. ДЗ значително намалява грапавостта (до огледални повърхности), увеличава повърхностната микротвърдост, въвежда полезни остатъчни напрежения и модифицира микроструктурата на повърхностните и подповърхностните слоеве по отношение на издребняване на зърната. Поради това ДЗ значително подобрява *surface integrity* на метални компоненти. Основните управляващи фактори при ДЗ са радиусът на закръгление на диамантния крайник, деформиращата сила, подаването и скоростта на плъзгане. Тази статия представя резултатите от експерименталното изследване на влиянието на скоростта на плъзгане върху *SI* на стомана 41Cr4. Установено е, че скоростта на плъзгане влияе слабо върху *SI*. Повишената скорост на плъзгане води до леко намаляване на получената грапавост, леко увеличаване на повърхностната микротвърдост и намаляване на осовите остатъчни напрежения на повърхността; за разлика от осовите остатъчни напрежения, околните остатъчни напрежения на повърхността се увеличават.

Г.11. Effect of sliding velocity on microstructure of diamond burnished 41Cr4 steel components

Abstract

In this article, the effect of the sliding velocity on the microstructures of diamond burnished 41Cr4 steel components was studied. The object of a comparative analysis of the microstructures of the surface and subsurface layers are three specimens. The specimens were diamond burnished with the same process parameters, but with different sliding velocity magnitudes: 50, 200, 300 m/min. The analyses of the microstructures were conducted using an NEOPHOT 2 metallographic microscope at X100, X400, and X800 magnifications. It was found that the generated heat increasing in the contact zone between the diamond tip and the surface been treated due to the increase of the sliding velocity is not sufficient for phase transformations in the surface layers of the studied steel. On the other hand, the higher sliding velocity increases the plasticity in the surface layers, which effect is reflected in changes in the microstructure - there is a tendency to modify the granular perlite to a fibrous structure.

Г.11. Влияние на скоростта на плъзгане върху микроструктурата на диамантно загладени компоненти от стомана 41Cr4

Резюме

В тази статия е изследван ефектът от скоростта на плъзгане върху микроструктурата на диамантно загладени компоненти от стомана 41Cr4. Обект на сравнителен анализ е микроструктурата на повърхностните и подповърхностните слоеве на три образеца. Образците са диамантно загладени с еднакви технологични параметри, с изключение на скоростта на плъзгане: 50, 200, 300 m/min. Анализът на микроструктурите е проведен с помощта на металографски микроскоп NEOPHOT 2

при увеличения X100, X400 и X800. Установено е, че генерираната топлина в контактната зона между диамантния връх и обработваната повърхност, следствие от повишаването на скоростта на плъзгане, не е достатъчна за фазови превръщания в повърхностните слоеве на изследваната стомана. От друга страна, по-високата скорост на плъзгане увеличава пластичността в повърхностните слоеве, което води до промени в микроструктурата, като има тенденция за модифициране на зърнестия перлит към влакнеста структура и пластинчат перлит.

Г.12. Surface layer temperature-dependent constitutive model of AISI 316Ti high alloy steel, subjected to diamond burnishing

Abstract

In this article, the temperature-dependent constitutive model of AISI 316Ti high-alloy steel is developed, using the "flow stress" concept, at the range of (20-200)°C. The model defines the dependence between the stress and strain tensors for a point on the surface layer subjected to diamond burnishing. A combined approach is applied, based on an experimental test – (indentation test) and inverse finite element analysis of the experimental test. The model serves the fully coupled thermal-stress finite element analysis for components made of AISI 316Ti high-alloy steel, subjected to diamond burnishing.

Г.12. Температуро-зависим конститутивен модел на повърхностния слой на повърхностния слой на високо-легирана стомана AISI 316Ti, подложена на диамантно заглаждане

Резюме

Прилагайки концепцията „flow stress“, е разработен температуро-зависим конститутивен модел на високо-легирана стомана AISI 316Ti в диапазона (20-200)°C. Моделът дефинира зависимостта между тензорите напрежение и деформация за точките от повърхностния слой в пластичната област. За изграждането му е приложен комбиниран подход, базиран върху експериментален тест - (indentation test) и инверсен крайно-елементен анализ на експерименталния тест. Конститутивният модел може да се използва за провеждане на свързани термо-механични крайно-елементни анализи на компоненти от стомана AISI 316Ti, подложени на диамантно заглаждане.

Г.13. Sliding velocity impact on surface integrity in diamond burnishing of AISI 316Ti high-alloy steel specimens. Part I: Experimental study of the roughness and micro-hardness

Abstract

In this article, the effect of the sliding velocity on the obtained roughness and surface micro-hardness of cylindrical specimens of AISI 316Ti high-alloyed austenitic chromium-nickel steel subjected to diamond burnishing was experimentally studied. The sliding velocity vary at the range of $v=50\div 300$ m/min. Based on the conducted statistical analysis of the experimental results, no unambiguous tendency for the sliding velocity impact on the studied characteristics of surface integrity has been established. The roughness obtained corresponds

to a polish surface ($R_a=0.08\div 0.124\ \mu\text{m}$), and the surface microhardness is relatively homogeneously distributed - $HV_{0.05}=387\div 399$.

Г.13. Влияние на скоростта на плъзгане върху surface integrity при диамантно заглаждане на образци от високо-легирана стомана AISI 316Ti. Част I: Експериментално изследване на грапавостта и микротвърдостта

Резюме

В тази работа експериментално е изследвано влиянието на скоростта на плъзгане върху получената грапавост и повърхностната микротвърдост на цилиндрични образци от високо-легирана аустенитна хром-никелова стомана AISI 316Ti, подложени на диамантно заглаждане. Скоростта на плъзгане се променя в диапазона $v=50\div 300\ \text{m/min}$. След статистическа обработка на експерименталните резултати не е установена еднозначна тенденция за влиянието на скоростта на плъзгане върху изследваните характеристики на surface integrity – получената грапавост съответства на полирана повърхнина ($R_a=0.08\div 0.124\ \mu\text{m}$), а повърхностната микротвърдост е относително хомогенно разпределена – $HV_{0.05}=387\div 399$.

Г.14. Sliding velocity impact on surface integrity in diamond burnishing of AISI 316Ti high-alloy steel specimens. Part II: Numerical simulations research of the residual stresses

Abstract

In this article, the effect of the sliding velocity on the distribution of the hoop residual stresses in cylindrical specimens of AISI 316Ti high-alloyed austenitic steel during diamond burnishing, was studied. For this purpose, a 3D finite element model was developed, on the basis of which fully coupled thermal-stress finite element analyses of the studied process were performed for the following values of the sliding velocity: 50, 100, 200, 300 m / min. Based on the finite element results, it was found that the increase in the sliding velocity in the studied interval causes a 80 °C higher surface temperature. This temperature effect causes a relatively small difference in the distribution of the hoop residual stresses on the surface ($\approx 70\ \text{MPa}$) and in depth.

Г.14. Влияние на скоростта на плъзгане върху surface integrity при диамантно заглаждане на образци от високо-легирана стомана AISI 316Ti. Част II: Числени симулации за изследване на остатъчните напрежения

Резюме

В тази работа чрез числени симулации е изследвано влиянието на скоростта на плъзгане при диамантно заглаждане върху разпределението на окръжните остатъчни напрежения в цилиндрични образци от високо-легирана аустенитна стомана AISI 316Ti. За тази цел е разработен 3D крайно-елементен модел, на база на който са проведени свързани термо-механични анализи на изследвания процес за следните стойности на скоростта на плъзгане: 50, 100, 200, 300 m/min. На база на крайно-елементните резултати е установено, че нарастването на скоростта на плъзгане в изследвания интервал причинява с 80 °C по-висока температура на повърхността. Този температурен ефект причинява относително малка разлика в разпределението на окръжните остатъчни напрежения на повърхността ($\approx 70\ \text{MPa}$) и в дълбочина.