

**Резюмета на трудовете след защита на докторска дисертация  
(по тематични области) 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“**

***I. Повишаване и прогнозиране на якостта на умора и уморната дълготрайност на метални компоненти посредством статично повърхностно пластично деформиране в корелация със Surface Integrity (SI)***

Научни трудове: В.1, В.2, В.3, В.4, В.5, В.6, В.10

*Научните трудове са посветени на ефективността на статичните процеси за повърхностно пластично деформиране (ППД) диамантно заглаждане (ДЗ) и ППД с тороидална деформираща ролка в аспект на повишаване на якостта на умора и уморната дълготрайност на метални конструкционни компоненти. В основата на изследванията е корелацията между уморното поведение с някои основни характеристики на SI (получена грапавост, остатъчни напрежения, микротвърдост, микроструктура), които характеристики съответстват на определени комбинации на основните и допълнителни параметри на съответните процеси. Приложени са експериментален и крайно-елементен подходи. Експерименталните изследвания включват предпланирани и планирани експерименти, регресионен анализ, X-ray diffraction анализ и уморни тестове на въртеливо огъване с коефициент на асиметрия на цикъла  $R=-1$ . Получени са серия криви на Вюлер, предсказващи уморното поведение в корелация с параметрите на изследваните процеси.*

***II. Оптимизации и нови оптимизационни процедури на статични процеси за повърхностно пластично деформиране***

Научни трудове: В.7, В.9, Г.8

*Обоснована е тезата, че процесът ДЗ може да бъде *smoothing*, *deer* или *mixed burnishing* в зависимост от конкретната комбинация на използваните управляващи фактори. Проведени са оптимизации на процеса ДЗ за стомана 41Cr4 и бронз CuAl8Fe3, с цел да се получат оптималните параметри на процеса ДЗ при различни критерии. Обоснован е избора на управляващите фактори и целевите функции, които са получени на база на планирани експерименти и регресионни анализи, в зависимост от съответния критерий. Посредством едноцелеви оптимизации са получени конкретните оптимални стойности на целевите функции и съответните оптимални стойности на управляващите фактори, осигуряващи реализирането на ДЗ съответно като *smoothing* и *deer* процес. Допълнително е обоснована идеята, 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. На тази основа е решена многоцелева оптимизационна*

задача, насочена към ДЗ, реализирано като *mixed burnishing* процес, използвайки метода на тегловния вектор.

### **III. Сравнителен анализ между диамантно заглаждане и *deep rolling***

Научни трудове: В.8

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 деформация 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 деформация 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.

### **IV. Изследване на динамичното поведение на системата „главна греда – телфер – товар“ следствие движение на телфера**

Научни трудове: Г.1

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 едностранов 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 равномерното 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.

## **V. Влияние на йонно азотиране върху уморното поведение на стомана 35HGS**

Научни трудове: Г.2

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.

## **VI. Експериментално изследване относно грапавостта на нисковъглеродна, средновъглеродна и инструментална стомана след диамантно заглаждане**

Научни трудове: Г.3

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 У8А инструментална стомана). Целта на това изследване е влиянието на параметрите на процеса върху получената грапавост. Основните параметри (деформираща сила, радиус на диамантния накрайник, 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 накрайник 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 ( $R_a = 0,109 \mu\text{m}$ ) 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, подобренето 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.

### **VII. Подробен модел на микротвърдостта на образци от стомана 41Cr4 подложени на диамантно заглаждане**

Научни трудове: Г.4

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.

### **VIII. Крайно-елементни симулации на статични *mechanical surface treatment* процеси – обзор и перспективи**

Научни трудове: Г.5

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 проведения анализ.

### ***IX. Температуро-зависими конститутивни модели на поведението на повърхностните слоеве на конструкционни материали, подложени на диамантно заглаждане***

Научни трудове: Г.6, Г.9, Г.12

*Разработени са температуро-зависими конститутивни модели на високо-яка алуминиева сплав 2024-T3, бронз CuAl8Fe3 и високо-легирана стомана AISI 316Ti, базирани върху концепцията "flow stress". Моделите дефинират връзката между тензорите напрежение и деформация за точките от повърхностния слой, подложен на ППД. За тази цел е използван комбиниран подход, който включва експериментален indentation тест (тест на проникване) и инверсен крайно-елементен анализ на експерименталния тест. Разработените конститутивни модели отчитат влиянието на температурата върху поведението на повърхностния и подповърхностните слоеве в температурни диапазони (20 ÷ 300) °C. Моделите могат да се използват за числени симулации за изследване на напрегнатото и деформирано състояние на компоненти, подложени на ППД и последващи механични и / или температурни натоварвания.*

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

Научни трудове: Г.7

*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  $R_a=0.085 \mu\text{m}$ , което съответства на процеса полиране.*

### ***XI. Изследване на влиянието на скоростта на плъзгане при диамантно заглаждане върху SI***

Научни трудове: Г.10, Г.11, Г.13, Г.14

*Изследванията са насочени към оценка на влиянието на скоростта на плъзгане при ДЗ върху SI (грапавост, микротвърдост, микроструктура и остатъчни напрежения) на компоненти от ниско-легирана стомана 41Cr4 и високо-легирана стомана AISI316Ti. За целта са приложени експериментален подход (планирани експерименти и X-ray diffraction анализ) и числени симулации, базирани върху двустранно-свързан 3D крайно-елементен модел на процеса ДЗ. Установено е, че изменението на скоростта на плъзгане в интервала 50 ÷ 300 m/min води до незначително изменение на изследваните характеристики на SI.*