

ISSN 1311-3321

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „Ангел Кънчев“
UNIVERSITY OF RUSE „Angel Kanchev“

Факултет „Машинно-технологичен“
Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering

СБОРНИК ДОКЛАДИ
на
СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС’14

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ СЕСИИ – СНС’14

PROCEEDINGS
of
the SCIENTIFIC STUDENT SESSION – SSS’14

Русе
Ruse
2014

Сборникът включва докладите, изнесени на студентската научна сесия **СНС'14**, организирана и проведена във факултет **“Машинно-технологичен”** на Русенския университет “Ангел Кънчев”.

Докладите са отпечатани във вида, предоставен от авторите им.
Доклады опубликованы в виде, предоставленном их авторами.
The papers have been printed as presented by the authors.

ISSN 1311-3321

Copyright ©

- ♦ **СТУДЕНТСКАТА НАУЧНА СЕСИЯ** се организира от **АКАДЕМИЧНОТО РЪКОВОДСТВО** и **СТУДЕНТСКИЯ СЪВЕТ** на **РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ** с цел да се предостави възможност на студенти и докторанти да популяризират основните резултати от своята учебноизследователска работа и да обменят опит.
- ♦ **ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:**
 - **Съпредседатели:**
проф. д-н Христо Белоев, ДНС mult. –
РЕКТОР на Русенския университет
Елена Захаријева
ПРЕДСЕДАТЕЛ на Студентския съвет
elena_zaharieva91@abv.bg; 082-888 390
 - **Научни секретари:**
проф. д-р Ангел Сфрикаров –
Зам.-ректор на Русенския университет
ASmrikarov@ecs.uni-ruse.bg; 082-888 249
Габриела Попова –
Член на Студентския съвет
Gabriela_porova_@abv.bg; 082-888 390
 - **Членове:**
 - **Факултет „Аграрно-индустриален”**
доц. д-р Калоян Стоянов
kes@uni-ruse.bg; 082-888 542
Гергана Везирска
geri_vezirska@yahoo.com
 - **Факултет „Машинно-технологичен”**
доц. д-р Стоян Стоянов
sgstoyanov@uni-ruse.bg; 082-888 572
Мариета Станоева
mstanoeva@uni-ruse.bg
 - **Факултет „Електротехника, електроника и автоматика”**
доц. д-р Теодор Илиев
tiliev@ecs.uni-ruse.bg; 082-888 839
Георги Цанков
g.tsankov93@gmail.com

- **Факултет „Транспортен”**
доц. д-р Валентин Иванов
vdivanov@uni-ruse.bg; 082-888 373
Димо Иванов;
dimich@abv.bg
- **Факултет “Бизнес и мениджмънт”**
доц. д.ик.н. Дянко Минчев,
dminchev@uni-ruse.bg; 082 888 357
Елизар Станев
eastanev@uni-ruse.bg
- **Факултет „Юридически”**
гл. ас. д-р Кремена Раянова
k_raynova@abv.bg; 0889 205921
Боян Войков
bvoykov@abv.bg
- **Факултет „Природни науки и образование”**
доц. д-р Емилия Великова
evelikova@uni-ruse.bg; 082/ 888 848
Йоана Тасева
ioana.taseva@abv.bg
- **Факултет „Обществено здраве и здравни грижи”**
доц. д-р Стефан Янев
snyanev@uni-ruse.bg ; тел. 082-821 883
Емануил Панайотов
emo7700@abv.bg
- **Филиал Разград**
доц. д-р Цветан Димитров
tz_dimitrow@abv.bg; 0887-631 645
Живка Иванова
ivanova_jivka@abv.bg
- **Филиал Силистра**
доц. д-р Тодорка Георгиева
knidor@abv.bg; 086 821 521
Доника Костадинова
doni_ss91@abv.bg

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

1. Данаил Николов
Възможности за вакуумно окси-карбонитриране на инструментални стомани
Научни ръководители: проф.д-р Пламен Данев, доц. д-р Иван Дерменжиев, 7
2. Есин Адем, Хатидже Чакалова
Биосъвместими имплантационни материали и възможности за модификация на повърхностите им
Научни ръководители: ас. д-р Мария Николова, ас. д-р Ваня Захариева 13
3. Имрен Ибрямова
Изследване на структурата и някои свойства на биосъвместими комбинирани TiN/TiO₂ слоеве върху титан
Научен ръководител: ас. д-р Мария Николова 20
4. Радостина Николова, Наталина Панова
Влияние на лазерната повърхностна обработка върху корозионното поведение на стомана X18H10T в изкуствена слюнка
Научни ръководители: доц. д-р Диана Цанева, гл. ас. д-р Мариана Илиева 26
5. Мартина Рекинова, Наталина Панова
Влияние на лазерната повърхностна обработка върху корозионното поведение на стомана X18H10T в разтвор на Рингер
Научен ръководител: гл.ас.д-р Мариана Илиева 31
6. Ивелин Тодоров
Корозионна устойчивост на неръждаема стомана след студена пластична деформация
Научни ръководители: гл.ас. д-р Мариана Илиева, ас. маг. Емил Янков 36
7. Деница Филева
Определяне на механичните свойства на листов материал при едномерен опън чрез измерване на твърдост
Научни ръководители: ас. маг. Емил Янков, гл.ас.д-р Данаил Господинов 41
8. Теодор Колев
Технологии за бързо прототипиране в лелярското производство
Научен ръководител: доц. д-р Руси Минев 48
9. Андрей Дуницов
RepRap проект - особености, осъществяване и възможности за използване в обучението на студенти и в практиката
Научен ръководител: ас. д-р Екатерин Минев 53
10. Наталия Савицкая
Компютърно моделиране качания с полным переворотом (kiiking)
Научни ръководители: доц. д-р Велина Боздуганова, доц. д-р Венко Витлиев 59

11. Йордан Пенев
Вертикални трептения на колесна машина с електрически приводи
Научен ръководител: доц. д-р Стоян Стоянов 69
Теодор Мичев
12. **Разработване на стенд за калибриране на инструменти за измерване на силата на удара на ударни чукове, за нуждите на лабораторията на Atlas Copco**
Научни ръководители: инж. Звезделин Османов, ас. д-р Николай Станков, доц. д-р Александър Иванов 79
13. Даниела Цонева
Разработване на специализирана машина "Обрухвач".
Научни ръководители: ас. д-р Николай Станков, доц. д-р Александър Иванов 84
14. Весела Христова
Предимства и недостатъци за контрол и управление на превозни средства посредством GPS навигационни устройства
Научен ръководител: доц. д-р Борис Сакакушев 91
15. Миглена Ангелова
Проверка якостта и качеството на точков заваръчен процес чрез радиално натоварване
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров 104
16. Веселина Иванова
„Гуро” на качеството - проф. д-р Юрий Павлович Адлер
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров 111
17. Деница Филева
Джоузеф Джуран - „Гуро” на качеството
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров 116
18. Радена Раднева
Карл Пирсън – основоположник на „новата” статистика
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров 123

Възможности на вакуумно окси-карбонитриране за инструментални стомани

Автор: Данаил Николов

Научни ръководители: проф. д-р Пл. Данев, доц. д-р Ив. Дерменджиев

Abstract: In this study the possibility to use vacuum oxy-nitrocarburizing for hot- and cold-die instruments is investigated. The aim of the thermo-chemical treatment application is to prolong the working life of the tools. The preliminary results that are presented in this work, shows structural and mechanical properties of the examined steel sample.

Key words: tool steels, vacuum thermo-chemical treatment, oxy-nitrocarburizing

ВЪВЕДЕНИЕ

Постигането на оптимални потребителски свойства на инструменти за щанцоване и щамповане е проблем, за чието решаване се предлагат различни подходи. Прилагането на класически технологии само за термично обработване на инструменталните стомани не гарантират желания ресурс от среден брой щамповане или щанцовани изделия.

За повишаване ресурса на инструментите, най-често прилаганото в практиката химико-термично обработване е газово, йонно или течно азотиране, с цел повишаване устойчивост на топлинна ерозия и студено заваряване. Освен това се акцентира върху повърхностната грапавост и нейното значение за равномерното задържането на лубрикантни съставки. В тази насока се посочва положителното влияние на наличен оксиден филм на повърхността на инструмента. Оксидният слой има положителен ефект и при работа на горещо - риска от корозионни процеси при контакта на инструмента с горещия метал намалява. Не на последно място, от значение за дълготрайната работа на инструмента е и ударната жилавост на подложката [1, 2, 3].

Предвид необходимостта за оптимизиране на свойствата износостойчивост и ударна жилавост, вакуумното оксикарбонитриране (ОКН) съчетано с адекватно предварително термично обработване, е възможност за повишаване на работния ресурс на инструменти. Целта на настоящия доклад е представяне и анализ на предварителни изследвания за прилагане на вакуумно ОКН върху полуптоплоустойчива инструментална стомана.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Пробните тела от стомани 5XNM (90CrSi5, DIN 1.2738) с химичен състав, посочен в табл. 1, са подложени на ОКН при реално провеждани промишлени режими. Те са с цилиндрична, форма и приблизителни размери $\varnothing 20 \times 10$ mm.

Табл. 1. Химичен състав на използваните подложки (тегловни %)

Стомана	C%	Mo,%	Mn,%	Ni%	Cr, %	S, %	P, %	Fe, %
5XNM	0,5-0,6	0,15-0,30	0,5-	1,4-1,8	0,5-0,8	< 0,03	< 0,03	Bal.

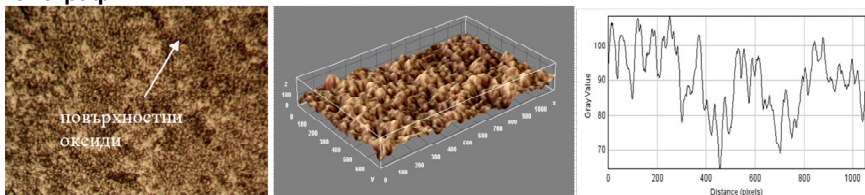
- Вакуумното ОКН е извършено в промишлена уредба по режими за формиране на износостойчив слой съвместно с детайли за уякчаване [4].
- Използвани са класически и съвременни методите и средства за изследване на състава, структурата и свойствата на наситените зони, а именно:
 - измерване на грапавост на повърхността (с профиломер Mitutoyo SJ 201P);
 - изследвана е микроструктурата на наситения слой (с микроскопи EPUTIP);
 - GDOES анализатор на "LECO instruments" GDS-750 QDP;
 - определен е рентгеноструктурно фазовия състав (с рентгенов дифрактометър URD-6 с Fe-K α лъчение);

- измерена е твърдост на зоните по различни класически методи (микротвърдосмер PMT-3 и Викерсов твърдосмер Wilson Wilpert Hardness Tester 432 SVD) и с помощта на Нанотестер FISCHERSCOPE® H100. Представените данни са резултат от усредняване на 4-6 измервания на всеки образец, което се извършва автоматично от нанотестер FISCHERSCOPE® H100.

- Определяне на кохезионната якост на зоните (чрез метод на надраскването с уред CSEM-REVETEST®).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Топография



Фиг. 1. Повърхностен анализ на образците: (от ляво на дясно) истинска (обектив 50x), моделна топография и линия на профила на ОКН стомана 5XНМ

Формират се повърхностни оксиди, като най-вероятно те са от Fe_3O_4 , поради ниската кислородна концентрация в N_2 . Според някои автори [5] тези съединения от типа $(\text{Fe},\text{Me})_3\text{O}_4$, които се характеризират с по-високи пластични характеристики от Fe_2O_3 и антиадхезионни свойства при триене, близки до тези на Fe_3O_4 .

Присъствието на дълбоки тъмни пори в свързаната зона представляват, вероятно, островчета от оксиди, формирани на повърхността преди насищането, чието редуциране по време на процеса вероятно не се е осъществило или оксидната фаза се е получила там при охлаждането.

Измерената грапавост на повърхността на пробите е представена в *табл. 1*.

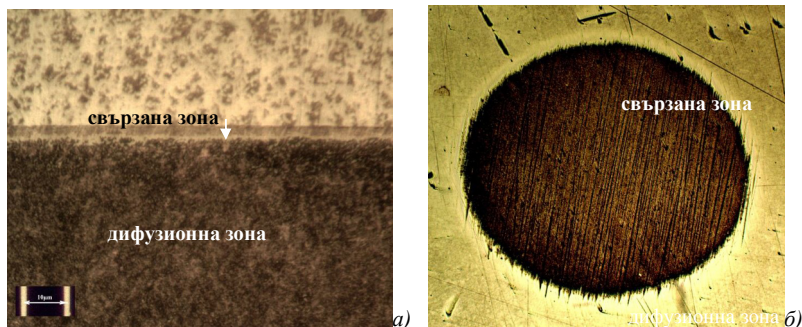
Табл. 1. Стойности на грапавостта при ОКН проби (базова дължина 0,25 mm)

Образец	5XНМ
$R_a, [\mu\text{m}]$	0,10
$R_z, [\mu\text{m}]$	0,65

Повърхностната грапавост не е особено висока като същевременно пористостта е ниска. Ниската стойност на грапавостта и пористостта могат да се тълкуват като потвърждение за присъствието на Fe_3O_4 на повърхността на пробите, тъй като той има е по-компактна структура и по-малка пористост всравнение с Fe_2O_3 [6].

Микроструктура

След проявяване на микрошлиф с реактив на Оберхофер ясно се откроява свързаната и дифузионната зони. Дебелината на свързаната зона е измерена и информацията е представена в *табл. 2*. Свързаната зона е ясно видима и при проявена с нитал микроструктура на отпечатък от Calotest.



Фиг. 2. Микроструктурни особености на стомана 5XNM:

- а) характерни особености на свързаната зона, след проявяване с нитал и реактив на Оберхофер; б) микроструктура на отпечатъка след проведен Calotest, проявена с нитал

Особено важно е тук да се подчертае присъствието на „светла област“ на границата свързана/дифузионна зона. След проявяване с Оберхофер се вижда, че между повърхностната нитридна област и по-тъмно оцветената дифузионна зона, се намира значително по-светъл, неравномерен по дебелина подслой (фиг. 2, б), който е интегрална част от свързаната зона. Присъствието на този подслой може да се асоциира с наличие на сложни нитриди и карбиди от цементитен тип около границата свързана/дифузионна зона.

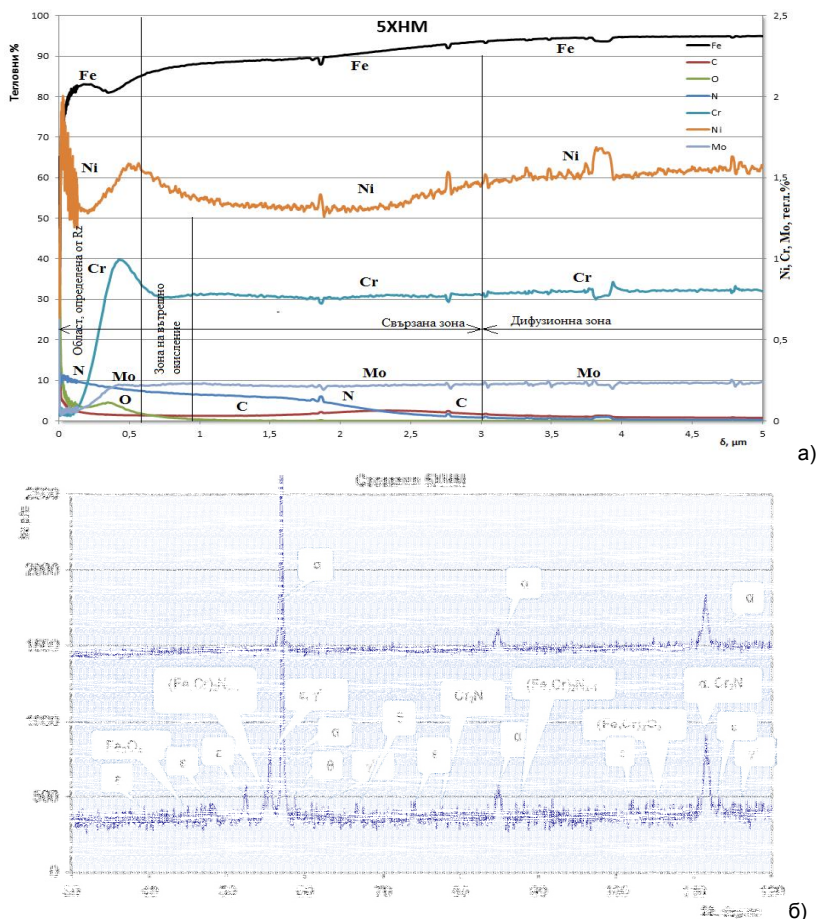
Микроструктурата на отпечатъка от калотеста на образци дава възможност за наблюдаване равномерността и измерване на дълбочината на свързаната зона.

Табл. 2. Дебелина на свързаната зона при ОКН проби, определена по различно методи

Стомана 5XNM	Дебелина на свързаната зона: δ, [μm]
Микроструктурно	3
Чрез калотест	2,96
Чрез GDOES анализа	3
$\delta_{\text{ср}}$	2,99

Химичен и фазов състав

В профилът на разпределението на химичните елементи от повърхността в дълбочина има две отчетливи промени – повишаване на съдържанието на Ni до повърхността на пробата и пик в съдържанието на Cr в близост до повърхността. Никелът не образува собствени нитриди при температурите на процеса, но изтеглянето му в посока към повърхността е свързано с по-големия му афинитет към кислорода. Повишената подвижност на Ni свидетелства за наличието на високо количество ваканции в близост до повърхността, вероятно в следствие на отделянето на хромовите нитриди в зоните.



Фиг. 3. Химичен и фазов състав на стомана 5ХНМ: а) разпределение на елементите в дълбочина на наситената зона; б) рентгенограми от повърхността на образеца, направени преди и след насищането

Максимумът в хромовата концентрация отговаря по място на областта на вътрешно окисление в свързаната зона. Този факт от една страна потвърждава възходящата дифузионната активност на елементите през хексагоналните Fe-Cr-N фази, а от друга е свързан с повишеното кислородно присъствие в ϵ -карбонитрида, след формирането на $(\text{Fe,Cr})_{2-3}(\text{N,C})$ при равно на атмосферното налягане в камерата [7]. Кислородът, разтворен в карбонитрида, съдържа Cr в близост до повърхността на пробата като увеличава концентрацията му там.

Хромът се явява легиращ елемент в ϵ -карбонитрида и следователно присъствието му там повишава стабилността на фазата, твърдостта и износостойчивостта ѝ.

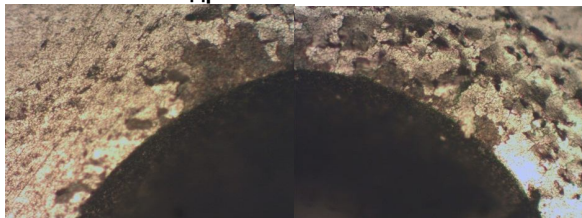
Според рентгенографския анализ на пробата от стомана 5ХНМ, в зоната присъстват $(\text{Fe,Cr})_2\text{N}$ и Cr_2N хексагонални фази и карбиди от цементитен тип (θ). Може да се отбележи, че в пробата количеството на $\varepsilon - \text{Fe}_3(\text{C,N})$ и α -фазата са

повече. Това се дължи от една страна на равномерната по дебелина „бяла зона“, а същевременно дебелината ѝ от 3 μm дава възможност да се отчете и наличието на α -фазата.

Табл. 3. Измерена средна твърдост след отгряване, подобряване и ОКН и полиране на повърхността на пробните тела

Материал	5XHM
Твърдост след подобряване (HV_1), (Krautkramer)	320
Твърдост след подобряване (HV_1), (Wilson)	350
Твърдост след ОКН и полиране (HV_1), (Krautkramer)	550
Твърдост след ОКН и полиране (HV_1), (Wilson)	468
Твърдост след ОКН и полиране, ($HV_{0,3}$) (Wilson)	493,6
Микротвърдост на свързаната зона, $\mu HV_{0,02}$, (PMT-3)	851
Микротвърдост Nanotester, [GPa]	9,1
Микротвърдост на свързаната зона, $\mu HV_{0,05}$, (PMT-3)	790
Микротвърдост Nanotester (500 mN), [GPa]	6,8

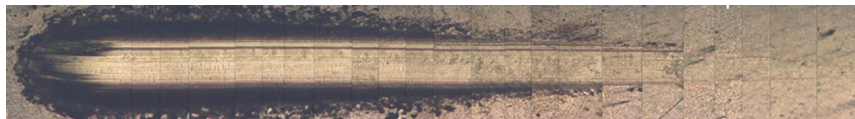
1.2. Роквел С тест и тест на драскането



Фиг. 4. Топография на повърхността около отпечатакът, получен при определяне адхезионната якост по метода Rockwell-C Impact тест (обектив 25x) на стомана 5XHM

Роквел С теста за адхезия [8] дава качествена информация за адхезионните характеристики на покритие или зона, като се използва оценка от HF1 до HF6, гарантираща ефективността при работа на съответния повърхностен слой в промишлени условия [9]. В конкретния случай използването на теста е с цел да даде информация за кохезионното качество на свързаната зона.

Освен пукнатини се наблюдават и частични откъртвания, поради високата твърдост и макронапреженията в относително тънката свързана зона, което съответства оценка на HF2 по DIN CEN/TS 1071-8 стандарта.



Фиг. 5. Макроструктура на следата след проведен Scratch test, получена при определяне адхезионната якост на зоните при 5XHM.

Подобно на Роквел С теста, използването на Скрач теста е с цел изследване на кохезионното качество на свързаната зона.

Както се вижда от фиг. 5., под действие на приложеното натоварване при скрач тест не възникват пукнатини и отлющвания, които да се наблюдават макроскопски.

ИЗВОДИ

Резултатите от предварителните изследвания на приложеното вакуумно ОКН за инструментални стомани показват значително уякчаване на повърхностния слой. Налична е свързана зона с висока твърдост и добри кохезионни характеристики, което е предпоставка за намаляване на коефициента на триене в работни условия, повишаване на корозионната устойчивост и респективно удължаване на работния ресурс на инструмента. Възможността за получаване на оксиден филм на повърхността допълнително осигурява равномерно задържане на лубрикиращи съставки.

При ударно натоварване наличието на дифузионна зона с комплексни нитриди осигурява желаните работни характеристики на инструмента в случай на откътрване/разрушаване на слоя свързана зона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Uddeholm, Tool steel for die casting, Brochure, 2012;
- [2]. Deutsche Edelstahlwerke, Hot-work tool steel, Broschueren, 2007;
- [3]. Mayur Deshpande, Adam Groseclose, Dr. Taylan Altan, Selection of die materials and surface treatments for increasing die life in hot and warm forging, ERC for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University ;
- [4]. Danev P., in: Proceedings of Scientific Session, RU'2004, Engineering Sciences, 2004, 41, series 2, p. 73-77.
- [5]. Рамазанов К.Н., Исследование влияния азотирования и высокотемпературного азотирование в тлеющем разряде с эффектом полного катода на фазовые превращения в конструкционный и инструментальных сталях; Машиностроение, материаловедение и термическая обработка металлов, УГАТУ 2008, том 10, №1 (26), стр.100-107;
- [6]. Esfahani A., M. H. Sohi, J. Rassizadehghani, F. Mahboubi, Effect of treating atmosphere in plasma post-oxidation of nitrocarburized AISI 5115 steel; Vacuum 82 (2008) 346–351;
- [7]. Николова М., Дисертация, 2013, Русе;
- [8]. DIN CEN/TS 1071-8 Advanced Technical Ceramics— Methods of Test for Ceramic Coatings—Part 8: Rockwell indentation test for evaluation of adhesion, 2004, p. 12;
- [9]. Recco A.A.C., I.C. Oliveira , M. Massi, H.S. Maciel, A.P. Tschiptschin, Adhesion of reactive magnetron sputtered TiNx and TiCy coatings to AISI H13 tool steel; Surf & Coat Technol 202 (2007), 1078–1083;

За контакти: Данаил Николов, докторант към кат. MTM e-mail: dnikolov@uni-ruse.bg

Биосъвместими имплантационни материали и възможности за модификация на повърхностите им : ОБЗОР

Автори: Есин Адем, Хатидже Чакалова

Научни ръководители: ас. д-р Мария Николова, ас. д-р Ваня Захаријева

Abstract: The bioactivity and biocompatibility of the implant are determined by the nanostructured coating. Because of the enormous potential of biomaterials, the latter are in focus of the scientific researches of the whole world. The paper deals with the latest developments in coatings on implants. The problems, the advantages and disadvantages of the different surface modification technologies are discussed. The goal of this paper is to make a review of biomaterial surface modifications which are designed for and are in the usage in practice.

Key words: biocompatibility, implant materials, nanostructured implant coatings, titanium oxide

ВЪВЕДЕНИЕ

Биоматериалите революционизират много аспекти на превантивните и терапевтичните здравни грижи. Те играят важна роля в развитието на нови изделия с медицинско предназначение: протези, тъкани, липозоми и др. Напредъкът в тази област изисква мултидисциплинарен подход, при който учените (химици, физици, математици, биолози, лекари и инженери) си взаимодействат.

Най-трудната задача пред биоинженерите е да се образува химична връзка между импланта и биополимерните молекули на тъканта. Ако модифицираната повърхност на протезата се свърже химично с тъканта, това ще осигури висока съвместимост, якост и дълготрайност на импланта [1]. Ето защо основните предизвикателства пред съвременните биоматериали са фиксирането на импланта към костта (остеоинтеграция) и създаването на уплътнение от мека тъкан около импланта, което предотвратява инфекции или други усложнения. Следователно, от ключово значение е получаването на активна повърхност върху протезата, която да не предизвиква образуване на фиброзна капсула около имплантираното чуждо тяло, както и да ускори процеса на регенериране на костната тъкан чрез активно свързване с пептиди и други активни молекули.

Общоприети изисквания към биоматериалите са:

1) Механична якост - механичните свойства, които са от първостепенно значение за имплантационните материали са твърдост, якост на опън, модул на еластичност и относително удължение. Поведението на материала при циклично натоварване или т. н. *уморна якост* е определяща за дълготрайността на импланта при работата му. Например, цикличната сила, която се регистрира по време на дъвчене може да надхвърли 850N [2];

2) Висока корозионна и износостойчивост – при намалени корозионна устойчивост и бързо износване в киселата среда на устната кухина се освобождават редица метални йони от импланта, които предизвикват алергични или токсични реакции, въпреки че все още няма адекватни методи за оценка на безопасността на наноматериалите. Според [3] корозионното поведение на материала е определящо за биосъвместимостта, живота на импланта и неговата безвредност;

3) Биосъвместимост – ако материалът на импланта е дразнещ или токсичен, заобикалящата го тъкан ще се възпали или умре. Имплантационните материали трябва да не са токсични (т.е. да са биологично неактивни), да не предизвикват възпаление или алергични реакции в тялото. Класификацията на биоматериалите според реакцията на организма е: **биоактивни материали** – те са предпочитани, тъй като предизвикват активна остеоинтеграция; **биотолерантни** – също се използват за имплантационни материали. При тях се образува фина съединително-тъканна капсула (с дебелина 0.1–10 μm), която не се свързва адхезионно с

повърхността на импланта; **биодеградируеми** – с времето те биват заместени от автоложна тъкан.

4) Остеоинтеграция – характеризира възможността на имплантната повърхност да се свързва с костната и други тъкани. Идеалната остеоинтеграция представлява адхезия на *de novo* образувана кост, свързана с импланта. Ако имплантът осъществява микродвижения се образува фиброзна тъкан между него и костта и имплантацията е неуспешна. За да е успешно протезирането, повърхността трябва да притежава противовъзпалителна активност и да улеснява биомолекулната адхезия. Установено е [4], че върху грапава хидрофилна повърхност макрофагите експесират по-малко про-възпалителни цитокини в сравнение с гладка такава.

Направените през последните 20 години изследвания показват, че модификациите на повърхността, които влияят върху ранния отговор на костните клетки към импланта са: 1) състава; 2) топографията; 3) повърхностната грапавост; 4) повърхностната енергия; 5) хидрофилността.

Редица изследвания в последните години са насочени към подобряване на връзката кост/имплант чрез ускоряване на остеоинтеграцията и имобилизацията на протезата [5]. За тази цел се използват 2 подхода:

Първият подход включва химично модифициране чрез включване на неорганични фази като СаР върху или в слой от TiO_2 . Друга възможност е биохимичната модификация чрез инкорпориране на органични молекули като протеини, ензими или пептиди, които да индуцират клетъчен и тъканен отговор.

Втората стратегия включва промяна на архитектурата на повърхността чрез физично или химично въздействие. На микро ниво, по-неравната повърхност осигурява по-голяма площ за клетъчно захващане и развитие в сравнение с гладката и така имобилизацията и механичната устойчивост на връзката имплант-кост ще нарастне [6]. На нано-ниво високата грапавост повишава повърхностната енергия, което увеличава адсорбцията на протеините от междуклетъчния матрикс, миграцията на костните клетки и тяхната пролиферация (делене), както и остеоинтеграцията [7]. Модификацията на повърхността чрез този подход може да включва добавяне или премахване на част от масивния материал на импланта или деформирането му с цел да се постигнат повърхностни характеристики, сравними по размер или по-големи от тези на еукариотните клетки, т.е. **наноструктурирани повърхности**. Тази стратегия се очертава като по-прспективна, поради факта, че образуваната повърхност е биологично и механично по-стабилна и слабо деградируема преди и след имплантацията. Наноструктурното модифициране на повърхността повлиява химичните ѝ свойства, тъй като наноструктурите имат по-малък брой атоми във всяко зърно, поради което имат висока повърхностна енергия. Нанотехнологиите могат да разчитат на наноструктуриране в едно направление или самоструктуриращи се по-сложни структури. Според структурата си тези материали могат да се класифицират като: **нанокристали, наночастици, наноструктури, нанопокрития, нанофибри**.

Конкуренцията: клетъчен vs. бактериален растеж

Общоприето е схващането, че грапавата повърхност на импланта увеличава белтъчната и клетъчна адсорбция [8], но същевременно акумулира повече патогенни бактерии [9]. Наноструктурираната повърхност с нанотръби, например, съдържа аморфен TiO_2 , за който е установено, че увеличава бактериалното прикрепване [10], за разлика от наноструктурираната или гладка повърхност с кристална TiO_2 фаза.

Остеобластите имат относително гъвкава клетъчна мембрана и могат да променят формата си в зависимост от средата. Големината им е $\sim 10 \mu\text{m}$ в диаметър. За разлика от тях, бактериите са по-малки, с диаметър около $1 \mu\text{m}$. Тъй

като не притежават вътрешен цитоскелет, имат твърда клетъчна стена. Изследване показва, че предпочитано място за залавяне към повърхността на *S. epidermidis* са вдлъбнатите части на плазмено оксидирана повърхност, където образуват колонии, а не върху изпъкналите части на повърхността, наподобяващи планински върхове [11].

Имплантната повърхност може да придобие антимикробни свойства чрез импрегниране с АБ (антибиотици) [12]. За увеличаване на локалната АБ концентрация се използват натоварени с АБ покрития [13]. Те обаче подлежат на деструкция при стерилизация, но още често са неефективни, поради резистентност на щамовете, системното прилагане на АБ предизвиква бъбречни и чернодробни усложнения.

По-предизвикателният вариант е модифициране на повърхността с бавно освобождаващи се във времето сребърни или медни йони, вградени в модифицираната повърхност, които притежават доказани антибактериални свойства [14]. До днес са известни само няколко случая на резистентни срещу сребро щамове [15]. Магнетронно отложени отделно наночастци Ag или Cu върху TaN покрития намаляват разпространението на бактерията *Escherichia coli* [16], растежът на човешки клетки върху повърхността не е изследван.

Видове и характеристики на имплантационните материали

Аустенитната стомана 316L е често използвана за медицински цели, поради факта, че притежава добра корозионна устойчивост, лесна обработваемост на студено и горещо, добри механични свойства след студена пластична деформация и сравнително ниска цена. При продължителен престой във физиологични условия, защитният повърхностен оксиден слой губи стабилността си и стоманата става чувствителна към междукристална и питингова корозия [17]. Интересен е фактът, че не се регистрира разлика в остеоинтеграцията при използване на 316L или титанова сплав, което е потвърждение, че костните клетки реагират основно на вида на повърхността или покритието.

Кобалт-хромови сплави са склонни да отделят Cr и Co йони, поради податливостта си към корозия във физиологични условия. Освен това 316L и Cr–Co сплави имат по-висок модул на еластичност от този на костите, а тогава напреженията, прехвърляни към костта са недостатъчни, а това предизвиква абсорбция на костта.

Титанът и сплавите му са най-широко използвани имплантационни материали за дентални и ортопедични цели, поради високата си биосъвместимост. Якостните показатели на титановите сплави са близки до тези на 316L, но плътността им е 55% по-ниска от тази на стоманата и по отношение на специфичната якост значително я превъзхождат. Титановите сплави притежават и по-висока уморна якост. По отношение обаче на фрикционния коефициент при титановите сплави той е висок, което може да предизвика поява на следи на износване, причиняващи възпаление, болка и отхвърляне на импланта. Умората на импланта, в следствие от фретинг може да се подсили и от физиологичните условия на слюнката и други водни разтвори в организма [18], а металните йони, продукт от фретинг и износване на импланта, могат да имат и системен канцерогенен ефект [19].

Корозионната устойчивост на титановата сплав е силно повлияна от присъствието на пасивиран слой и легиращите елементи в нея. Титанът и сплавите му са особено устойчиви на питингова корозия в *in vivo* условия, но са податливи на разтваряне във високо флуоридни разтвори, които се използват за дентално почистване. Корозията в следствие от умора почти не зависи от pH стойността (pH в човешкото тяло варира между 3.5 до 9), докато фретинг корозията е особено характерна за ортопедичните импланти, подложени на натоварване [20]. Титановите

сплави за разлика от неръждаемите стомани и други медицински сплави, се репасивират много по-бързо.

Модулът на еластичност на импланта трябва да е съпоставим с този на костта, за да не се получи абсорбция на последната. С оглед на намаляване на модула на Young на сплавта се правят пористи импланти от титан и сплавите му или се използва β -сплав, която има нисък модул след подходяща обработка. С оглед на намаляване на модула на Young се правят пористи импланти от титан и сплавите му. При около 30% пористост, модулът на еластичност почти се изравнява с този на костта, но якостта на импланта намалява с около 30%, а $\sigma_{0.2}$ е под 100 Мра [21].

Чистият титан (cpTi) и Ti-6Al-4V ELI (Ti64, Extra Low Interstitial) са най-често използваните титанови имплантационни материали. По отношение на механичната биосъвместимост, стойността на модула на Young е основният фактор, който трябва да бъде отчетен и сравнен с този на костта. Ето защо днес се обръща особено внимание на β -сплавите, чиито Young модули са значително по-малки от тези на α - и ($\alpha+\beta$)-сплавите. За Ti-13Nb-13Zr сплавта модулът на Young може да варира от 44 до 88 GPa. ($\alpha+\beta$)-сплавите след обработка имат по-висока якост, пластичност, по-висока якост на циклично натоварване, докато β -обработени сплави имат по-висока пукнатинно-устойчивост. Като правило, якостта на сплавта нараства с увеличаване на съдържанието на β -стабилизаторите в нея.

Все още, обаче, е трудно се преодоляват редица нежелани ефекти след имплантацията като например бактериални инфекции, слаба остеоинтеграция, ниска механична якост, електрохимична корозия под действие на слюнката и др.

Технологични схеми за модификация на имплантните повърхности

Съществуват различни технологични схеми за модификация на имплантните повърхности, но в клиничната практика се използват предимно плазмено отложените покрития за титановите импланти. Според вида на приложеното въздействие към повърхността, тези методи могат да се разделят на:

- **Физични методи** за свързване на атоми или наночастици от TiO_2 към микрометрични частици с цел да се получи наноструктурирана повърхност, при което се образува тънък филм от умишлено отложени химични елементи [22]. Чрез *plasma spray* технологията се получават покрития от хидроксипатит (HA) в аморфен CaP чрез кондензация върху повърхността на импланта като слоевете са с различна дебелина ($\mu\text{m}+\text{mm}$). Основните проблеми при използването на този метод е свързан с високата температура на обработката, пористостта на покритията и напреженията на границата покритие/подложка. Понякога се наблюдава съществено разминаване в състава и структурата на получения слой в сравнение с изходната отлагана фаза [23]. Още повече, тази техника не е особено ефективна за покриване на фини дентални импланти със сложна форма [24].

Друг физичен метод е отлагането на *PVD покрития* от различни метали. Предимство на PVD технологията пред другите методи за нанасяне на покрития е нейната възпроизводимост, а получените покрития са тънки, стабилни, устойчиви и плътни като нанасянето им не променя повърхностната топография. В присъствието на металоиди в него (като N и O) покритието може да придобие изключително висока твърдост. Възможността за отлющване на покритията все още се смята за „слабото място“ на тези методи, тъй като това е непредсказуемо във времето явление, което може да доведе до поява на галваничен елемент с подложката (особено ако подложката е от материал, различен от покритието), както и отхвърляне на импланта.

- **Самоорганизиращи се монослоеви (SAMs)** – образуват се при спонтанна хемосорбция и вертикално плътно позициониране на молекули върху субстрат като се използват само крайноверижните групи на граничната повърхност. Геометричните ограничения, наложени от архитектурата на SAMs (около 300 nm диаметър), налагат

свързването на клетките само към повърхността на оксида, а не обемно взаимодействие с повърхността. Тази слаба фокална адхезия пространствено разделя и намалява контакта между клетките и ограничава тяхното разпространение.

- Третата група методи включват **химична обработка** на повърхността с цел промяна в топографията или свързването ѝ с реактивни групи. Предимство на този метод е, че липсват ROS и продукти от окислението, които се получават върху аморфната форма на TiO_2 повърхност, а натрупаните хлоридни аниони притежават антимикробна активност [25]. При повърхностното разяждане трудно може да се контролира размера (по отношение на височина, разположение и конфигурация на порите) на образуваните грапавини както на нано-, така и на микро ниво. Това води до разлика в повърхностния химичен състав. Киселинното въздействие намалява механичните свойства на титана (водородно окрежкостяване от TiH_2), тъй като се появяват микропукнатини, намаляващи уморната якост [26].

- Четвърти подход е отлагането на наночастици върху повърхността на титановите повърхности чрез **зол-гел трансформационните техники**. С помощта на тази техника могат да се отлагат CaP, Al, Ti, Zr и др. материали. Поради силното междуматрично свързване на частиците, слойът показва силно физично взаимодействие, но дифузионна връзка отново липсва.

- Пети подход е използването на **оптични методи** (основно литография), базирани се на специфичните размери на въздействащите вълни. Лазерна обработка образува на повърхността микрометрични бразди, но не може да постигне нанометрични такива.

- Шестият подход представлява **термично въздействие** при $600\pm 740^\circ\text{C}$ за време между 45-180 min в синтетичен въздух (21% O_2 , 79% N_2 , 1 atm, 0.85 l/min) или в въздушна атмосфера. При това титанът още при $300\text{--}400^\circ\text{C}$ активно поглъща разтворения в метала азот и водород, което е свързано и със силно повишена повърхностна крехкост. Освен това, някои авторите посочват, че образуваните оксиди имат нежелана островна структура.

- Друг вариант е **механично въздействие** – пясъкоструйно с корундови или Al_2O_3 частици, при което се получават кратероподобни деформирани повърхности с хаотична морфология. Това въздействие може да намали корозионната защита на Ti, тъй като предизвиква големи остатъчни повърхностни напрежения [27]. Освен това, в импланта се вграждат и малки частци абразив, което според [28] забавя клетъчния растеж;

Може да се отбележи, че титановите биоматериали могат едновременно да притежават разнообразна повърхностна грапавост – от нано- до микро ниво, както и много различен химичен състав. Стимулиращ ефект върху остеоинтеграцията се оказва, че притежава аанатазната формата на оксида [29].

Използването на PVD нанесен TiN като възможно покритие привлича вниманието към себе си с възможността да бъде получен като уникално тънко покритие, поради механичните си свойства като висока твърдост и износуустойчивост, корозионната устойчивост [30], както и биосъвместимостта си [31] и хемосъвместимостта си [32]. Използването на TiN за покритие на дентални протези, също е подходящо, поради сравнително малкия модул на еластичност, добра уморна якост, обработваемост. Това означава, че такъв тип покрития ще увеличи механичната устойчивост на покритието спрямо образуването на пукнатини и фретинг корозия.

Биосъвместимостта на TiO_2 покритие е по-добре изразена от тази на TiN. TiO_2 покритието показва значително по-високи R_a и R_z стойности от полираната повърхност и TiN [33]. Във всички случаи, образуването на оксинитридни фази в имплантите и пасивиранияте слоеве подобряват корозионната устойчивост и твърдостта на повърхността на имплантите. Ето защо перспективен за работа вариант е получаването на градиентен комбиниран TiN/ TiO_x слой върху

микронеравна събстратна повърхност с инкорпорирано микроколичество от Ag или Cu в него.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Niinomi, Biologically and Mechanically Biocompatible Titanium Alloys Materials Transactions, Vol. 49, No. 10 (2008) pp. 2170 – 2178;
- [2]. Morneburg TR, Pröschel PA. Measurement of masticatory forces and implant loads: a methodologic clinical study. *Int J Prosthodont* 2002;15(1):20–7;
- [3]. M. H. Fathi, V. Mortazavi Tantalum, Niobium and Titanium Coatings for Biocompatibility Improvement of Dental Implants *Dental Research Journal* (Vol. 4, No. 2, Autumn-Winter 2007, www.mui.ac.ir;
- [4]. Hyzy S.L. et al. Microstructured titanium regulates interleukin production by osteoblasts, an effect modulated by exogenous BMP-2/ *Acta Biomaterialia* 9 (2013) 5821–5829;
- [5]. Albrektsson, T. and Wennerberg, A. (2004) Oral implant surfaces: Part 1—review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *Int. J. Prosthodont.* 17, 536–543;
- [6]. Coelho, P.G. et al. (2009) Basic research methods and current trends of dental implant surfaces. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 88, pp. 579–596;
- [7]. Wennerberg A. Albrektsson T., A review of current knowledge, opinions and suggestions for possible common mechanisms behind the increased bone response reported to different types of modern oral implant surfaces. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, (2010);
- [8]. Le Guehennec L, Lopez-Heredia MA, Enkel B, Weiss P, Amouriq Y, Layrolle P. Osteoblastic cell behaviour on different titanium implant surfaces. *Acta Biomater* 2008;4(3):535e43;
- [9]. Harris LG, Richards RG. Staphylococci and implant surfaces: a review. *Injury* 2006;37; Suppl. 2;
- [10]. Del Curto B, Brunella MF, Giordano C, Pedferri MP, Valtulina V, Visai L, et al. Decreased bacterial adhesion to surface-treated titanium. *Int J Artif Organs* 2005;28:718e30;
- [11]. Silva TS, Machado DC, Viezzer C, Silva Junior AN, Oliveira MG. Effect of titanium surface roughness on human bone marrow cell proliferation and differentiation: an experimental study. *Acta Cir Bras* 2009;24(3):200-5;
- [12]. Parvizi J, Wickstrom E, Zeiger AR, Adams CS, Shapiro IM, Purtill JJ, Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, Hickok NJ: Titanium surface with biologic activity against infection. *Clin Orth Rel Res* 2004, 429:33-38;
- [13]. Schmidmaier G, Lucke M, Wildemann B, Haas NP, Raschke M. Prophylaxis and treatment of implant-related infections by antibiotic-coated implants: a review. *Inj Int J Care Injured* 2006;37(Suppl 2):S105e12;
- [14]. Bosetti M, Massi A, Tobin E, Cannas M: Silver coated materials for external fixation devices: in vitro biocompatibility and genotoxicity. *Biomaterials* 2002, **23**:887-892;
- [15]. Silver S: Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiol Rev* 2003:341-353;
- [16]. H.-L. Huang, et al., Antibacterial TaN-Ag coatings on titanium dental implants *Surf. coat. technol.* (2010), doi:10.1016/j.surfcoat.2010.07.096;
- [17]. M. H. Fathi, V. Mortazavi Tantalum, Niobium and Titanium Coatings for Biocompatibility Improvement of Dental Implants *Dental Research Journal* (Vol. 4, No. 2, Autumn-Winter 2007, www.mui.ac.ir;
- [18]. Semlitsch M, Willert HG. Clinical wear behaviour of ultra-high molecular weight polyethylene cups paired with metal and ceramic ball heads in comparison to metal-on-

metal pairings of hip joint replacements. *Proc Inst Mech Eng, Part H: J Eng Med* 1997;211:73–88;

[19]. Martini D, Fini M, De Pasquale V, Bacchelli B, Gamberini M, Tiniti A, et al. Detachment of titanium and fluorohydroxyapatite particles in unloaded endosseous implants. *Biomaterials* 2003;24:1309–16;

[20]. M. Geetha et al. / Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review; *Progress in Materials Science* 54 (2009) 397–425;

[21]. Mitsuo Niinomi, Biologically and Mechanically Biocompatible Titanium Alloys *Materials Transactions*, Vol. 49, No. 10 (2008) pp. 2170 – 2178;

[22]. Coelho PG, Suzuki M. Evaluation of an ibad thin-film process as an alternative method for surface incorporation of bioceramics on dental implants. *A study in dogs. J Appl Oral Sci* 2005;13:87–92;

[23]. Radin S, Ducheyne P. Plasma spraying induced changes of calcium phosphate ceramic characteristics and the effect on in vitro stability. *Mater Med* 1992;3:33–42;

[24]. Giavaresi G, Fini M, Cigada A, Chiesa R, Rondelli G, Rimondini L, et al. Mechanical and histomorphometric evaluations of titanium implants with different surface treatments inserted in sheep cortical bone. *Biomaterials* 2003;24:1583–94;

[25]. Shibata Y., D. Suzuki , S. Omori , R. Tanaka, A. Murakami, Y. Kataoka, K. Baba, R. Kamijo, T. Miyazaki, The characteristics of in vitro biological activity of titanium surfaces anodically oxidized in chloride solutions, *Biomaterials* 31 (2010); pp. 8546- 8555;

[26]. Yokoyama K, Ichikawa T, Murakami H, Miyamoto Y, Asaoka K. Fracture mechanisms of retrieved titanium screw thread in dental implants. *Biomaterials* 2002;23:2459–65;

[27]. Aparicio C., F.J. Gil, C. Fonseca, M. Barbosa, J.A. Planell, Corrosion behaviour of commercially pure titanium shot blasted with different materials and sizes of shot particles for dental implant applications, *Biomaterials* 24 (2003) 263–273;

[28]. Rosales-Leal J.I. et al. / *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 365 (2010) 222–229;

[29]. He J. et al. (2008) The anatase phase of nanotopography titania plays an important role on osteoblast cell morphology and proliferation. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 19, 3465–3472;

[30]. Scarano A., M. Piattelli, G. Vrespa, G. Petrone, G. Iezzi, and A. Piattelli, “Bone healing around titanium and titanium nitridecoated dental implants with three surfaces: an experimental study in rats,” *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, vol. 5, no. 2, pp. 103–111, 2003;

[31]. Zhao J., X. M. Cai, H. Q. Tang, T. Liu, H. Q. Gu, and R. Z. Cui, “Bactericidal and biocompatible properties of TiN/Ag multilayered films by ion beam assisted deposition,” *Journal of Materials Science*, vol. 20, supplement 1, pp. S101–S105, 2009

[32]. Dion I., X. Roques, N. More et al., “Ex vivo leucocyte adhesion and protein adsorption on TiN,” *Biomaterials*, vol. 14, no. 9, pp. 712–719, 1993;

[33]. Yeniyl S., N. Bölükbağ, A. Bilir, A. F. Çakir, M. Yeniyl, T. Ozdemir, Relative Contributions of Surface Roughness and Crystalline Structure to the Biocompatibility of Titanium Nitride and Titanium Oxide Coatings Deposited by PVD and TPS Coatings, *ISRN Biomaterials*, 2013, <http://dx.doi.org/10.5402/2013/783873>

За контакти:

ас. д-р Мария Николова, Катедра “MTM”, РУ“Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 306, e-mail: mpnikolova@uni-ruse.bg

ас. д-р Ваня Зхаријева, Катедра “MTM”, РУ“Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 306, e-mail: vzaharieva@uni-ruse.bg

Изследване на структурата и някои свойства на биосъвместими комбинирани TiN/TiO₂ слоеве върху титан

Автор: Имрен Ибрямова

Научен ръководител: ас. д-р Мария Николова

Abstract: The bioactivity and biocompatibility of the implant are determined by the nanostructured coating. Because of the enormous potential of biomaterials, the latter are in focus of the scientific researches of the whole world. The paper deals with the latest developments in coatings on implants. The problems, the advantages and disadvantages of the different surface modification technologies are discussed. The goal of this paper is to make a review of biomaterial surface modifications which are designed for and are in the usage in practice.

Key words: biocompatibility, implant materials, nanostructured implant coatings, titanium oxide

ВЪВЕДЕНИЕ

Изполването на TiN като възможно покритие привлича вниманието към себе си с възможността да бъде получен като покритие, поради механичните си свойства като висока твърдост и изнosoустойчивост, корозионната устойчивост, както и биосъвместимостта си [1, 2]. Изполването на TiN за покритие на дентални протези, също е подходящо, поради сравнително малкия модул на еластичност, добра уморна якост и обработваемост.

Биосъвместимостта на TiO₂ покритие е по-добре изразена от тази на TiN. TiO₂ покритието показва значително по-високи Ra и Rz стойности от полираната повърхност и TiN [3]. TiO₂ има редица инженерни и медицински приложения, поради фотоелектрохимичните, фотокаталитичните и суперхидрофилните си свойства. По-хидрофилните повърхности са предпочитани пред хидрофобните, поради доброто им взаимодействие с биологичните течности, клетки и тъкани. Във всички случаи, образуването на окси-нитридни фази в имплантите подобряват корозионната устойчивост и твърдостта, но още дават възможност за получаване и на крехкост на повърхността, която е нежелана. Ето защо **целта** на настоящия доклад е да се наанасат покрития от титанов нитрид с електродогов изпарител, които да бъдат окислени в последствие по подходящ начин и да се изследват свойствата и структурата на повърхността.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

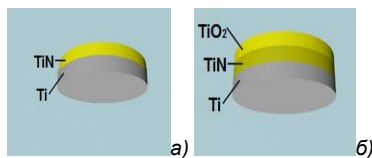
Експериментите са извършени във вакуумна уредба ВИМ–МР/ЕДИ от лабораторно-промишлен тип. Използваните образци са с кръгла форма от чист титан (commercially pure, cpTi) с размери Ø20x3 mm с химичен състав, посочен в Табл. 1. , определен с помощта на CEM JOEL-733.

Табл. 1. Химичен състав на изследвания материал

Елемент	Al	Fe	Ti
Теглови %	0,03	0,01	99,5

Пробите са шлифовани и полирани като преди поставяне в камерата за метализиране, са почистени в ултразвукова вана в рамките на 5 мин. последователно с C₂H₅OH, ацетон и дестилирана вода с цел премахване на онечиствания от предходните обработки. В първия режим образците са почистени в тлеещ разряд (среда – Ar; U = -400 V; t = 60 min; P = 2,5.10⁻² mbar; I_{ЕДИ} = 120 A), след това обработени в газометална плазма (среда – Ar; U_{np} = - 400V; t = 5 min; P = 2,5.10⁻³ mbar; I_{ЕДИ} = 120 A) и покрити с TiN (среда N₂; U_{np} = - 400 V; t = 45 min; P = 2,5.10⁻³ mbar). При втория режим след нанасянето на TiN покритието, повърхността е

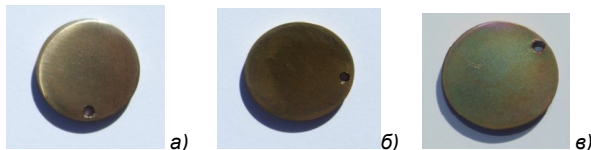
вакуумно окисление в глеещ разряд (среда – O_2 ; $U_{np} = -400$ V; $t = 60$ min; $P = 2,5 \cdot 10^{-2}$ mbar), а при третият - термично окисление във въздушна атмосфера ($t = 60$ min; $T = 600^\circ C$).



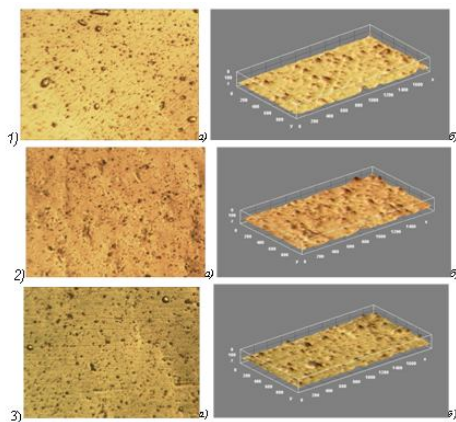
Фиг. 1. Схематичен вид на получените покрития

Стойностите на грапавостта са измерени с пиезоелектричен профиломер Mitutoyo SJ 201P. Микроструктурата на покритията е показана в отпечатъка от износване с въртяща се стоманена сфера - Ball wear метод с помощта на металографски микроскоп EPITYP-2. За проявяне на подложката с реактив на Шрьодер (2 ml HNO_3 , 2 ml HF, 96 ml H_2O). Адхезията на покритията се определя с помощта на скрач "CSEM – REVETEST" тестер при нормални прогресивно нарастващи от 0 до 100 N натоварвания. Хидрофилността на повърхността е изследвана със специализиран уред CSEM Alpha-Kit CH-2000 и течност октан. За установяване на корозионната устойчивост на покритията е проведен е анодно-поляризационен тест е при $37^\circ C$ температура в разтвор „изкуствена слюнка на Фузайяма – Мейер”.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ



Фиг. 2. Външен вид на покрити на титанови образци: а) покрити с TiN; б) покрити с TiN и вакуумно окислени; в) покрити с TiN и термично окислени

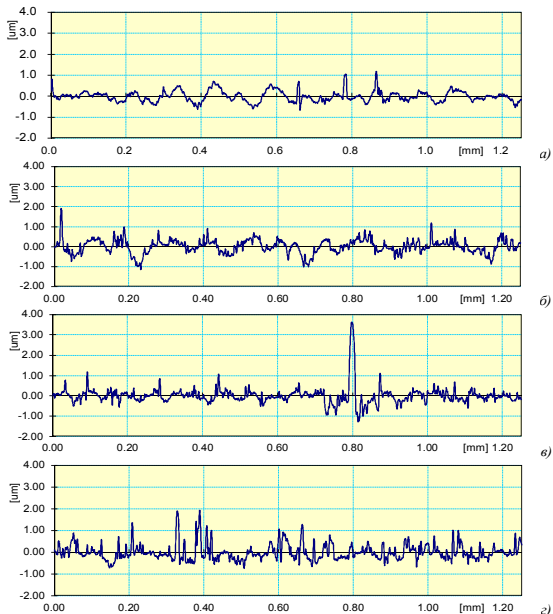


Фиг. 3. Топография на титанов образец с покритие от: 1) TiN; 2) TiN/TiO₂; 3) TiN и термично обработени образци: а) истинска; б) моделна топография

На фиг. 2. е показан външния вид на образците с нанесени покрития, а на фиг. 3, 4 и 5 – тяхната топография, като на „а“ е реалната такава, а „б“ е софтуерно

получена от снимката на повърхността. Наблюдава се малко по-изразена неравност на повърхността при окисления.

Линия на профила на образци показва, че в сравнение с полирания образец, покритите се характеризират с по-дисперсна и грапава повърхност. Най-високи стойности на R_a и R_z , показани в табл. 2, са отчетени при TiN покритие, което е вакуумно окислено.

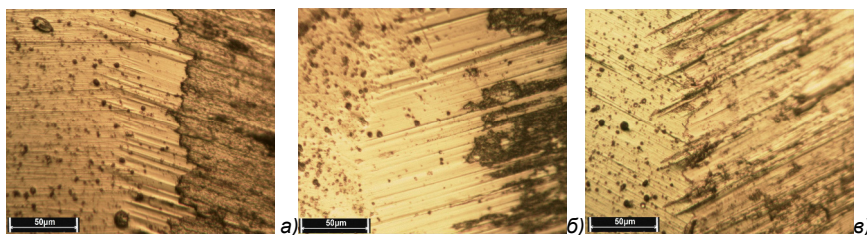


Фиг. 4. Линия на профила на титанови образци: а) полиран образец; б) покрити с TiN; в) покрити с TiN и вакуумно окислени; г) покрити с TiN и термично окислени

Табл. 2. Повърхностната граповост на титановите образци преди и след обработка

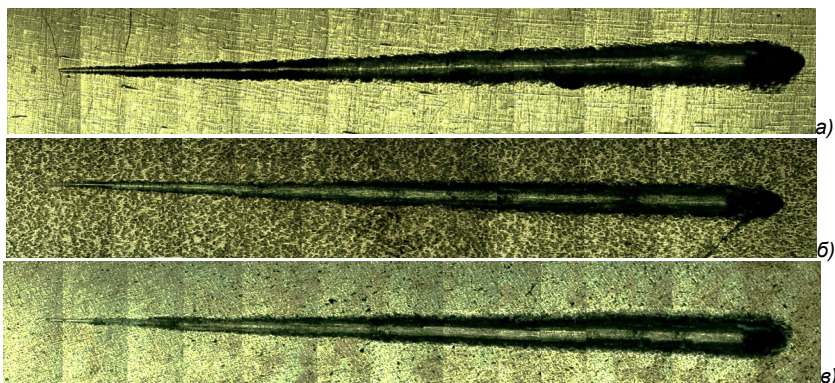
Образец	$R_a, \mu m$	$R_z, \mu m$
Подложка Ti	0,20	1,31
cpTi- TiN	0,24	1,80
cpTi- TiN/TiO ₂	0,25	2,10
cpTi- TiN + TiO	0,25	1,92

От микроструктура в отпечатъка от калотеста на образци се наблюдават характерните пори в TiN покритие (фиг. 5. а). При вакуумно окисления образец, оксидния слой не може да бъде ясно очертан (фиг. 5.б), а при термично окисления образец (фиг. 5.в) се вижда само промяна в цвета на повърхността, отличаваща я от TiN подслоя.



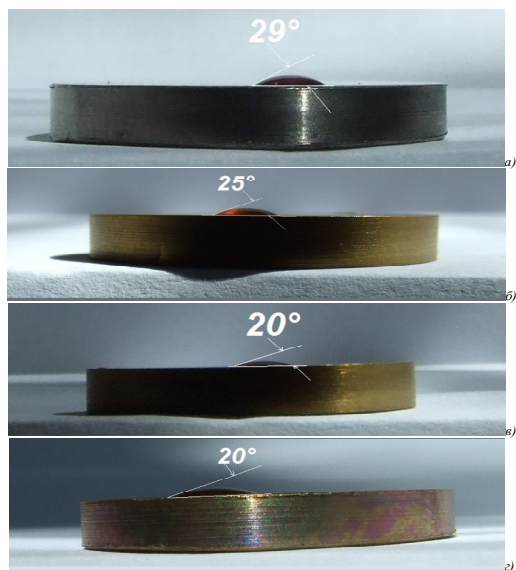
Фиг. 5. Микроструктура в отпечатъка от направен калотест на образци: а) покрити с TiN; б) покрити с TiN и вакуумно окислени; в) покрити с TiN и термично окислени

От следите на скрач теста се вижда, че под действие на приложеното натоварване не възникват пукнатини и отлющвания, които да се наблюдават микроскопски. Не се установява загуба на кохезия и адхезия или признаци на крехко разрушаване.

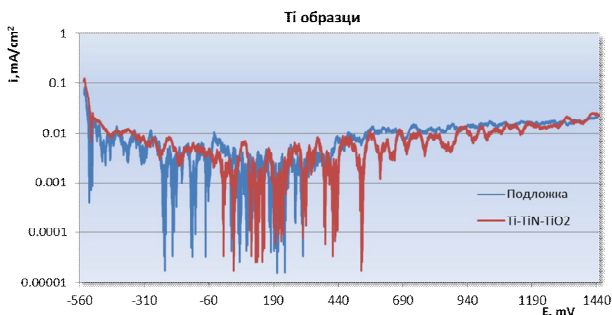


Фиг. 6. Следа от скрач теста на: а) покрити с TiN; б) покрити с TiN/TiO₂ образци; в) покрити с TiN и термично обработени образци

Хидрофилността на повърхността е оценена на базата на получената форма на капката на вискозно вещество – октан и контактният му ъгъл с повърхността. Всички от изследваните повърхности за хидрофилни, но най-малко хидрофилна (с най-голям ъгъл на омкряне) е полираният титан. Междинно положение заема (25°) заема TiN покритие, а най-хидрофилни са окислените образци.



Фиг. 7. Форма на капката на октан и контактния му ъгъл с повърхността върху: а) полиран ср Ti; б) покрити с TiN; в) покрити с TiN/TiO₂ образци; г) покрити с TiN и термично обработени образци



Фиг. 12. Потенциодинамични криви на анодна поляризация на пробните тела преди (синя крива) и след обработка (червена крива) в изкуствена слюнка на Фузайяма – Мейер

Известен факт е, че титанът е анодна подложка, докато TiN е катодно покритие. Този факт е предпоставка за развитие на галваничен елемент и влошаване на електрохимичното поведение на такъв тип покрития, особено като се има предвид порестата структура на PVD отложения TiN. Потенциодинамичната крива показва, че такъв ефект при Ti-TiN/TiO₂ образци няма, защото електрохимичното поведение на подложката и покрития образец почти не се различават в изследваната среда.

ИЗВОДИ

За да се намали до минимум възможността за възпаление на перимплантационната тъкан и други системи, предизвикано от откъртване на

повърхностния слой, е необходима издържливост на повърхността и максимална стойност на адхезия. Изполваната подложка от титан и нанесеното TiN/TiO₂ покритие не показва загуба на адхезия и кохезия. Едновременно с това повърхностната грапавост и хидрофилността са повишени в сравнение с чистия Ti и TiN-ното покритие, които свойства се смятат, че регулират остеобластната диференциация.

Електро-химичното поведение на подложката и покрития образец почти не се различават в среда „изкуствена слюнка“. Като се има предвид, че механичната якост на повърхността е повишена от присъствието на TiN покритие, вероятността за фретинг корозия намалява.

Предвид огромното влияние на повърхностните характеристики на имплантите върху резултата от протезирането, би трябвало да се наблегне върху изследване на всички особености на окислените покрития като химичен, фазов състав, топография, фракционен анализ и др. Въпреки това предварителните резултати показват, че и двата избрани метода на окисление са подходящи за получаване на хидрофилна, грапава и твърда повърхност.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Bolton J., X. Hu, "In vitro corrosion testing of PVD coatings applied to a surgical grade Co-Cr-Mo alloy," *Journal of Materials Science*, vol. 13, no. 6, pp. 567–574, 2002;
- [2]. Zhao J., X. M. Cai, H. Q. Tang, T. Liu, H. Q. Gu, and R. Z. Cui, "Bactericidal and biocompatible properties of TiN/Ag multilayered films by ion beam assisted deposition," *Journal of Materials Science*, vol. 20, supplement 1, pp. S101–S105, 2009;
- [3]. Yenyol S., N. Bölükbağ, A. Bilir, A. F. Çakir, M. Yenyol, T. Ozdemir, Relative Contributions of Surface Roughness and Crystalline Structure to the Biocompatibility of Titanium Nitride and Titanium Oxide Coatings Deposited by PVD and TPS Coatings, *ISRN Biomaterials*, Vol.2013, <http://dx.doi.org/10.5402/2013/783873>;

За контакти:

ас. д-р Мария Николова, Катедра "MTM", РУ "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 306, e-mail: mpnikolova@uni-ruse.bg

Влияние на лазерната повърхностна обработка върху корозионното поведение на стомана X18H10T в изкуствена слюнка

Автори: Радостина Николова¹ и Наталина Панова²

Научни ръководители: доц. д-р Диана Цанева¹ и гл.ас. д-р Мариана Илиева¹

РУ „Ангел Кънчев“- Русе¹, Факултет по дентална медицина на МУ-Варна²

Abstract: *Austenitic stainless steel is one of the materials most commonly used for dental prostheses.*

Samples of X18H10T GOST (AISI 321, EN X6CrNiTi 18-10) steel in initial condition and after laser surface melting are investigated in artificial saliva. Two tests were conducted: measurement of open circuit potentials (free potentials) E_f until reaching steady state potentials E_{ss} and potentiodynamic anodic polarization. Small amount of pits was observed on the surface of the all samples – untreated and laser melted layers as well. The steady state potential of the base metal is about +228mV, while in laser melted layers is +183mV. The pitting corrosion potential E_{pr} of the laser treated samples is: +643mV, which is lower than that of the untreated stainless steel (+802mV). Austenitic stainless steel is one of the materials most commonly used for dental materials.

It was established that the melted surface layers of the stainless steel were more susceptible to pitting and crevice corrosion than the base metal.

Key words: *stainless steel, laser melting, corrosion resistance, pitting and crevice corrosion, artificial saliva*

ВЪВЕДЕНИЕ

Основно изискване към металните материали, използвани като импланти, е биосъвместимостта им с човешките тъкани и кости.

Много често като материал за импланти се използват неръждаеми аустенитни стомани, легирани с големи количества хром и никел [1]. За изработване на брекети и зъбни протези се използват лазерно заварени телове от неръждаеми стомани. Материалите за зъбно протезиране са в непрекъснат контакт със слюнката и тъканите в устната кухина, които са силно агресивни среди. Устойчивостта на стоманите в тези среди се основава на поддържане на стабилно пасивно състояние. Слюнката съдържа хлорни йони, които са най-активните разрушители на пасивния слой. За повишаване на корозионната устойчивост на неръждаеми стомани широко се прилагат допълнително легиране с молибден или повърхностни обработки [2, 3], в това число, лазерна обработка, модифицираща структурата чрез разтопяване и кристализация при голяма скорост на охлаждане, което издребнява зърната на аустенита.

Основните корозионни продукти на стоманата са Fe-, Cr- и Ni- катионите. Ni и Cr индуцират различни реакции на свръхчувствителност в човешкото тяло. Тези метали предизвикват някои цитотоксични отговори като намаляване на активността на ензимите, канцерогенност и мутагенност [2]. Mn, отделян от някои аустенитни стомани, също се поглъща със слюнката и предизвиква токсичност, водеща до скелетни увреждания и нервни разстройства. Установено е, че продължителният контакт с Ni-съдържащи дентални материали повлиява бактериалния състав в устната кухина. Друг нежелан ефект е декалцификацията на зъбите, която се наблюдава при подкиселяване на средата, предизвикано от корозионните процеси (хидролизата на корозионни продукти) [1, 3].

Цел на настоящата работа е сравняване корозионното поведение в изкуствена слюнка на стомана X18H10T преди и след лазерно обработване. Тази цел е постигната чрез два теста за ускорено изпитване на електрохимична корозия: 1) изследване на изменението на свободния потенциал на образци от X18H10T от потапяне в електролита до установяване на постоянна стойност, наречена стационарен потенциал (E_{ss}) и 2) външна анодна поляризация.

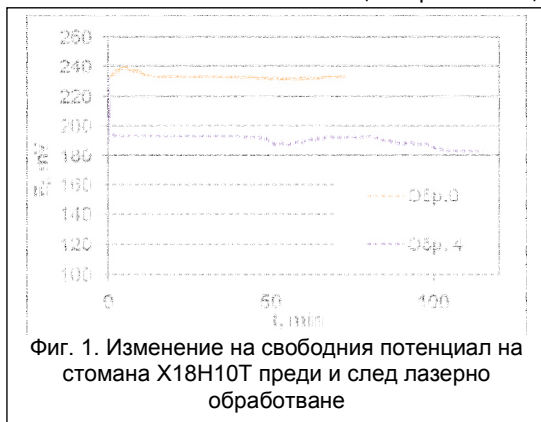
Методика на експеримента

Предвид на конкретното приложение на стомана X18H10T (AISI 321;EN X8CrNiTi18-10) в зъбното протезиране, за агресивна среда е избран сложен по състав разтвор, имитиращ слюнка, наричан „изкуствена слюнка на Фузайяма - Мейер“ [4]: KCl (0,4 g/l), NaCl (0,4 g/l), CaCl₂.2H₂O (0,906 g/l), NaH₂PO₄.2H₂O (0,690 g/l), Na₂S.9H₂O (0,005 g/l),Urea (1 g/l) с температура 37°C. За повишаване на агресивността е увеличена концентрацията на водородни катиони до pH 5,6 чрез добавяне на оцетна киселина, която се съдържа и в естествената слюнка.Изработени са образци с размери 10x8x8 mm от стоманата в състояние на доставка, някои от които са обработени повърхностно с непрекъснат CO₂ лазерен сноп с обемна енергия $E_v=34 \times 10^3 \text{ J/cm}^3$ [5]. Повърхностната обработка създава лазерно претопен слой с дълбочина 0,5 mm и ширина 4 mm, чиито фазов състав е сме от δ -ферит и аустенит.Работната повърхност на всички образци е полирана 15 min с паста ГОИ. Обезмаслените образци се монтират в тefлонов държач, отворът на който осигурява постоянна повърхност на контакт с електролита (в случая 0,238 cm²). На разстояние 2mm от тази повърхност през тefлоновото тяло е пробита капиларна на Лугин, завършваща при отвора с чашка, в която се поставя сравнителният електрод. Проследяването на промяната на свободния потенциал се осъществява чрез съставяне на двueleктродна клетка, включваща стандартен сравнителен електрод - наситен каломелов електрод с потенциал спрямо водородния електрод +233 mV и изследваната проба - работен електрод.

Външната анодна поляризация е осъществена с помощта на потенциостат RADELKIS OH- 405, към който е свързана стандартна триелектродна клетка: изучаваният образец е работен електрод, за сравнителен електрод се използва наситен каломелов електрод, а като противоелектрод - платинов електрод. Потенциалът е променен от -500mV до +1000mV със скорост 1mV/s. Данните и от двата теста са събрани с помощта на аналогово-цифров преобразувател NI USB-6008, и след това са обработени с помощта на електронна таблица. Всички стойности на E са изразени в стандартна водородна скала.

Резултати от изследванията

На фиг. 1 са обобщени кривите на изменение на свободния потенциал на основния метал и на лазерно претопения слой по време на престой в изкуствена слюнка до достигане на постоянна стойност - стационарен потенциал.



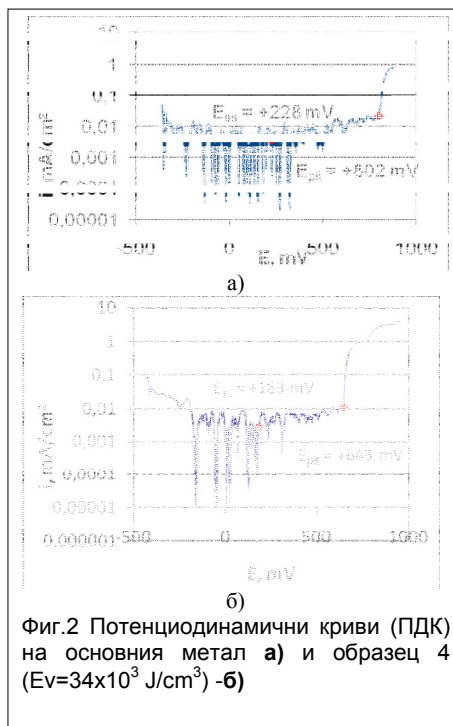
Фиг. 1. Изменение на свободния потенциал на стомана X18H10T преди и след лазерно обработване

От фиг.1 се вижда ,че промените в стойността на потенциала за двата образца не надвишават 10-20 mV, което показва добра стабилност на пасивния

слой, формиран на повърхността на пробните тела още при престоя им на въздух. Все пак за лазерно претопения слой се отбелязва слабо отместване в отрицателна посока спрямо потенциала на потапяне.

Стойностите на свободните (E_f) и стационарните потенциали (E_{ss}) на лазерно претопения слой са значително по-ниски от тези на основния метал (табл.1). Това еднозначно показва, че лазерното претопяване намалява термодинамичната устойчивост на повърхността на обработения образец. По-ниската термодинамична устойчивост е показател и за понижена корозионна устойчивост в конкретната среда.

Фиг. 2 илюстрира поведението на изследваните образци при външна анодна поляризация от потенциал -500 mV. Потенциодинамичните криви, построени в координати „абсолютна стойност на плътността на тока i – потенциал на поляризация E “ са типични за самопасивирани метали, които се разрушават от питингова (точкова) корозия.



Фиг.2 Потенциодинамични криви (ПДК) на основния метал а) и образец 4 ($E_v=34 \times 10^3$ J/cm³) -б)

Около потенциала на корозия стойностите на плътността на тока са много ниски и непрекъснато променят знака си в резултат на конкуренцията между анодния и катодния процеси. В анодната част на кривата i остава ниска (под $0,01$ mA cm⁻²) до достигане на потенциала на питингообразуване E_{pit} , при който настъпва локален пробив на пасивния слой и токът на разтваряне нараства бързо при задълбочаване на поляризацията.

Върху снетите потенциодинамични криви са отбелязани стойностите на E_{ss} и E_{pit} . Както се вижда от фиг.2 а и б, лазерно претопеният слой върху стомна X18H10T показва по-ниска устойчивост на питингова корозия в сравнение с основния метал – питинг се появява при по-малка със 150 mV дълбочина на поляризация - $E_{pit} = +643$ mV, докато за основния метал $E_{pit} = +802$ mV.

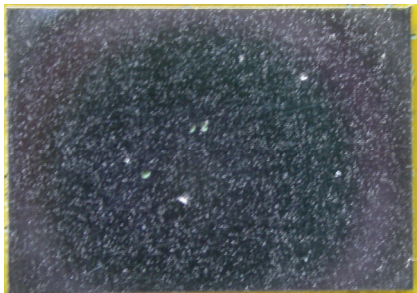
Сравнителните електрохимични изследвания на необработена и лазерно обработена стомана показват, лазерното претопяване влошава устойчивостта срещу питингова и процепна корозия. Това се дължи в промените на

структурата, която за изходната стомана е еднофазна – аустенит, а след обработката става двуфазна δ -ферит и аустенит.

Образец		E_{ss} [mV]	E_{pit} [mV]	i при E_{ss} mA cm ⁻²
0	Основен метал	+228	+802	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	Лазерно претопен слой ($E_v=34 \times 10^3$ J/cm ³)	+183	+643	$3,4 \cdot 10^{-3}$

Легиращите елементи се преразпределят между двете фази като δ -феритът се обогатява на хром, а аустенитът на никел. Легираният с хром ферит не притежава достатъчна устойчивост в кисели среди и е много вероятно върху феритните зърна да е облекчено зараждането на питинги.

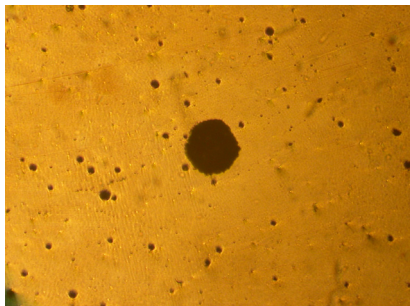
Фигури 3÷6 представят макро- и микроструктурата на изследваната повърхност на основен метал и лазерно претопен слой. Вижда се, че върху лазерно обработената повърхност има повече на брой и по-големи питинги, което потвърждава констатациите, направени от електрохимичните изследвания.



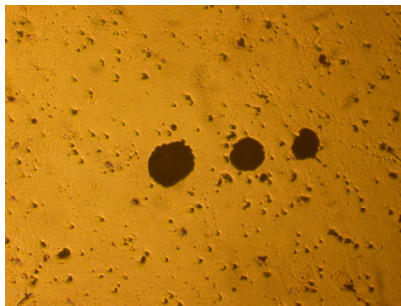
Фиг.3. Питинги върху лазерно обработен образец (обр.0) след електрохимично изпитване



Фиг.4. Питинги върху лазерно обработен образец (обр.4) след електрохимично изпитване



Фиг. 5. Микроструктура от повърхността на основния метал след електрохимично изпитване ,X63



Фиг. 6. Микроструктура от повърхността на лазерно претопения слой след електрохимично изпитване, X63

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стомана X18H10T в състояние на доставка и след повърхностна лазерна обработка са подложени на ускорени електрохимични изследвания за установяване на устойчивостта им към локални видове корозия в разтвор на изкуствена слюнка. Установено е, че лазерната обработка създава претопен повърхностен слой на дълбочина 0,5 mm, чиято структура е двуфазна δ -ферит и аустенит с висока степен на дисперсност. Хлоридният разтвор, допълнително подкиселен до pH 5,6 причинява питингова и процепна корозия, както на основния метал, така и на лазерно претопения слой. Установено е, че лазерната обработка намалява термодинамичната устойчивост на контактната повърхност като понижава стационарния потенциал с около 150 mV. Тази разлика между стационарните

потенциали не е достатъчна за възникване на корозионен галваничен елемент на границата основен метал – претопен слой, поради което няма опасност за галванична корозия на лазерно заварени телове от неръждаема стомана. Устойчивостта на питингова корозия намалява, което се изразява в изместване на потенциала на питингообразуване от +802 mV за основния метал до +643 mV за лазерно претопения слой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Chaturvedi T.P., Upadhayay S.N. An overview of orthodontic material degradation in oral cavity- Indian J. Dent. Res. , 21(2), 2010, p.275-282.
- [2]. Hansen D.C. Metal corrosion in the human body.The Electrochemical society Interface, Summer 2008, p.31-34
- [3]. Т. Brajkovic , I. Jurage, V. Simonovic (Zagreb, Croatia) - Influence of surface treatment of corrosion resistance of Cr-Ni steel, Engineering review, Vol. 33, Issue 2, 129-134, 2013
- [4]. Rajendran et al. Corrosion behavior of metals in artificial salivain presence of D-Glucose, The Arabian J. for Sci. and Engineering, vol.34, 2C, Dec. 2009, p.148-158
- [5]. Stavrev D., Ts. Dikova , Vl. Shtarbakov, M. Milkov – Laser surface melting of Austenitic Cr- Ni stainless steel, Advanced materials research-Vols. 264-265 (2011) pg.1287-1292

За контакти:

Радостина Николова; e-mail: rada_92@abv.bg , РУ „Ангел Кънчев”, катедра МТМ, гр. Русе 7017

Влияние на лазерната повърхностна обработка върху корозионното поведение на стомана X18H10T в разтвор на Рингер

Автори : Мартина Рекинова¹ Наталина Панова²
научен ръководител: гл. ас. д-р Мариана Илиева¹ РУ „Ангел Кънчев“- Русе¹,
Факултет по дентална медицина на МУ-Варна²

Целта на това проучване е да се определи влиянието на лазерното претопяване върху корозионната устойчивост на X18H10T аустенитна стомана, използвана като материал за импланти. Образците от тази аустенитна стомана се подложени на два електрохимични теста: проследяване на изменението на свободния потенциал до достигане на стационарна стойност и поенциодинамична анодна поляризация. От анализа на получените резултати се установява, че след лазерно претопяване стомана X18H10T показва по-висока устойчивост към питингова корозия в неутрален разтвор на Рингер.

Ключови думи: импланти; разтвор на Рингер, неръждаема стомана; електрохимична корозия; лазерно заваряване; процепна корозия; питингова корозия.

ВЪВЕДЕНИЕ

С увеличаване на продължителността на човешкия живот непрекъснато нараства нуждата от ортопедични импланти. Металните сплави, използвани за целта принадлежат към три групи: неръждаеми стомани, кобалт - хромови сплави и титанови сплави. Важно качество на тези материали е корозионната им устойчивост във физиологични разтвори и в контакт с тъканите на човешкото тяло. Тази среда представлява воден разтвор, отлично буфериран при $\text{pH} \approx 7,4$ и с постоянна температура $\approx 37^\circ\text{C}$. Взаимодействието с такива агресивни среди може да доведе до алергии и до изхвърляне на импланта, или и до двете. Свеждането до минимум на това взаимодействие подобрява биосъвместимостта, която е критерий в избора на материал за конкретно приложение като имплант. За съжаление, физиологичните разтвори като плазма, кръв, слюнка представляват агресивни течности, поради високо съдържание на разтворен кислород и значителна концентрация на соли. Две особености на състава определят корозионната му активност – на първо място: като разтвор на соли той, като силен електролит, улеснява електрохимичния механизъм на разрушаване на материалите и хидролизата на корозионните продукти; на второ място: в тъканите се съдържат много молекули и клетъчни частици, които са способни да катализират някои химични реакции, водещи до бързото разрушаване на компоненти, възприемани като чужди тела в организма.

Особено вредно за импланта е присъствието на хлорни йони, тъй като споменатите материали за импланти се използват в пасивно състояние, а хлорните йони най-активно атакуват пасивния слой, като го разрушават неравномерно и предизвикват локални видове корозия.

Независимо от техния произход и независимо от тяхната природа, материалите за импланти заемат специално място в научните търсения на съвременните материалознание и технология на материалите. Най-важното изискване към материалите, имплантирани в човешкото тяло, е биосъвместимостта. Последната зависи на първо място от химическата и биохимическата стабилност на материалите в биологичната среда на съответната тъкан.

В общия смисъл корозията на материалите в тялото се извършва по конвенционалните механизми на електрохимичната корозия в разтвори. Целта при избора на метални материали за импланти е да се сведе до минимум възможността за замърсяване на околните тъкани с продуктите на корозия. Две групи метали намират приложение - благородни метали и техните сплави, които притежават висока химическа стабилност, и метали и сплави, които са склонни към пасивиране и

запазват пасивно състояние, т. е. състояние, в което разтварянето им се извършва с много малка скорост.

В днешно време аустенитните неръждаеми стомани са едни от най-използваните биоматериали за вътрешни фиксиращи устройства, поради благоприятната комбинация от механични свойства, устойчивост на корозия и нисък разход в сравнение с други материали. Използват се за изработката на импланти в зъбното протезиране, ортопедични такива – стави, пирони, винтове, плаки, микроскопични импланти за вграждане в окото за лечение на глаукома и се прилага още в много други специфични случаи. Биосъвместимостта на имплантите от неръждаема стомана е доказана чрез успешната им имплантация в човешкия организъм в продължение на десетилетия. Изискванията за качество са строги, за да се гарантират достатъчна устойчивост на корозия и задоволителни механични свойства [1].

Цел на настоящата работа е да се сравни електрохимичното поведение в разтвор на Рингер на стомана X18H10T в състояние на доставка и след лазерно претопяване на повърхността. Тази цел е постигната чрез два теста: 1) изследване на изменението на свободния потенциал на образци от X18H10T от потапяне в електролита до установяване на постоянна стойност, наречена стационарен потенциал ($E_{ст}$) и 2) външна анодна поляризация.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

В настоящата работа се прави едно сравнително изследване на електрохимичното поведение на аустенитна неръждаема стомана преди и след лазерна обработка на повърхността. Пробните тела са изработени от стомана X18H10T (AISI321, EN X 6 Cr Ni Ti 18-10). Изработени са проби с размери 10x8x8 mm от стоманата в състояние на доставка (**образец 0**), някои от които са обработени повърхностно с непрекъснат CO₂ лазерен сноп с обемна енергия 34x10³J/cm³. (**образец 4**) [2]. Повърхностната обработка създава лазерно претопен слой с дълбочина 0,2 — 0,4 mm и ширина 4 mm. Фазовият състав на този слой е смес от б-ферит и аустенит [2]. Преди електрохимичните изследвания работната повърхност на всички образци е полирана 15 min с паста ГОИ.

Като агресивна среда при изучаването на корозионното поведение на стоманените образци е използван физиологичен разтвор на Рингер със състав: 9 g/l NaCl, 0,42 g/l KCl, 0,48 g/l CaCl₂, 0,2 g/l NaHCO₃. Площта на образците, изложена на въздействие на средата е 0,238cm². Извършени са два електрохимични теста:

- 1) проследяване изменението на свободния потенциал (E_f) докато се достигне стационарна стойност;
- 2) изследване поведението на стоманата при външна анодна поляризация.

Като сравнителен електрод се използва наситен каломелов електрод (HKE), който при температурата на изследване 37°C има потенциал +233 mV спрямо водородния електрод. Външната анодна поляризация се осъществява, използвайки стандартна триелектродна клетка с платинов противоелектрод, сравнителен електрод HKE и изучавания образец като работен електрод. Поляризиращият потенциал е приложен с помощта на потенциостат RADELKIS OH-405 и е променян от -550 mV/s до +1250 mV/s. Данните от експеримента са събрани с USB – цифров контролер NI USB-6008. Всички стойности на потенциалите са изчислени спрямо нормален водороден електрод (HBE).

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

На фигури 1 и 2 са показани повърхностите на стоманата в състояние на доставка (образец 0 – фигура 1) и на лазерно обработена стомана (образец 4 –



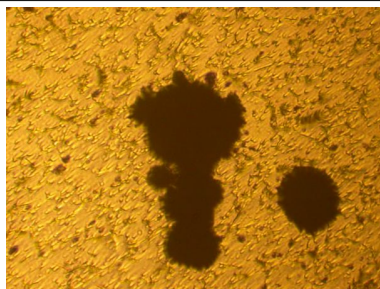
Фиг. 1. Корозионни разрушения – питинг и процепна корозия – върху повърхността на образец 0 (стомана X18H10T в състояние на доставка) след електрохимичните тестове



Фиг. 2. Корозионни разрушения – питинг и процепна корозия – върху повърхността на образец 4 (стомана X18H10T след лазерно претопяване на повърхността) след електрохимичните тестове



Фиг. 3. Корозионни разрушения – питинг – върху повърхността на образец 0 (стомана X18H10T в състояние на доставка) след електрохимичните тестове, x63

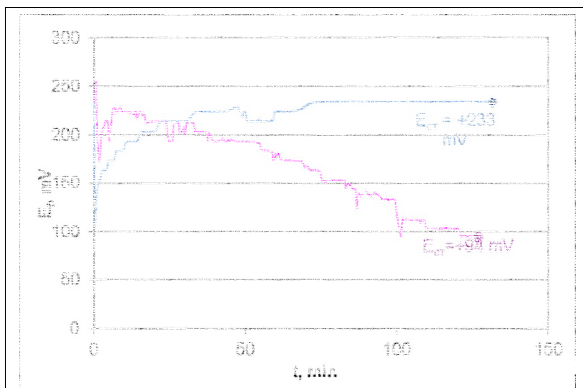


Фиг. 4. Корозионни разрушения – питинг – върху повърхността образец 4 (стомана X18H10T след лазерно претопяване на повърхността) след електрохимичните тестове, x63

фигура 2) след електрохимичните изследвания. Независимо от обработката, стоманата претърпява питингова и процепна корозия (на границата “уплътнител – изпитвана повърхност”), което е присъщо на този вид стомани в среди, съдържащи хлорни йони. Фигури 3 и 4 показват питингите в по-голямо увеличение – x63. Въпреки еднаквите корозионни разрушения, двата образца имат различно поведение по време на електрохимичните тестове. Резултатите от проследяването на изменението на свободния потенциал във времето са показани на фигура 5. Вижда се, че двата образца имат твърде различно поведение още в началото на теста: докато свободният потенциал на необработената стомана (образец 0) се изменя в отрицателна посока, то свободният потенциал на лазерно разтопената проба (образец 4) в началните моменти интензивно се отмества към по-положителни стойности. Такава промяна в посоките на изменение на свободните потенциали демонстрира, че върху образец 4 в началото на теста пасивният слой Cr_2O_3 се доизгражда, така че защитава стоманата, докато стремещът на образец 0 за свободен потенциал с по-отрицателни стойности свидетелства за несъвършенност на пасивния слой и постепенното му разрушение, което позволява стоманата под него да бъде атакувана от агресивната среда. В края на теста отчетеният стационарен потенциал на стоманата в състояние на доставка е с 139 mV по-

отрицателен от този на обработената проба, и това говори за по-голяма склонност на образец 0 към електрохимична корозия. разтвор.

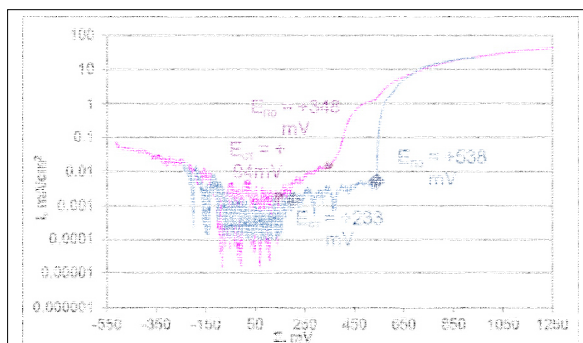
Външната анодна поляризация (фигура 6) на пробите също демонстрира по-голямата неустойчивост към електрохимична корозия на образец 0. Потенциодинамичната крива (ПДК) на проба 4 показва широк интервал на пасивно състояние, в който



Фиг. 5. Изменение на свободните потенциали на стомана X18Ni10Ti в състояние на доставка (образец 0) и след лазерно претопляване (образец 4)

плътността на анодния ток е ниска – между 0,001 и 0,005 mA/cm². Горната граница на този интервал представлява потенциала на питингообразуване E_{по}, при който започват процесите на формиране и нарастване на питинги, и за образец 4 тя е +538 mV. За разлика от проба 4, ПДК на проба 0 не притежава област на пасивно състояние, а на затруднено анодно разтваряне, в която

плътността на анодния ток постепенно нараства от 0,001 до 0,013 mA/cm². При достигане на потенциал на външна поляризация +348 mV, върху ПДК на проба 0 се наблюдава характерното за процесите на питингообразуване нарастване на плътността на анодния ток, т.е. проба 0 има потенциал на питингообразуване E_{по} = +348 mV, който е с 190 mV по-отрицателен от същия за образец 4 (E_{по} = +538 mV). Този факт също потвърждава по-голямата склонност на стоманата в състояние на доставка към електрохимична корозия.



Фиг. 6. Потенциодинамични криви (ПДК) на стомана X18Ni10Ti в състояние на доставка (образец 0) и след лазерно претопляване (образец 4)

Наблюдаваното поведение на двете стомани при електрохимичните тестове се обяснява с различията в строежа на повърхностите на образците преди и след

лазерното обработване. В резултат на лазерното разтопяване повърхността на образец 4 е с по-фина структура, свободна от неметални включения, което позволява върху нея да се изгради по-съвършен пасивен слой Cr₂O₃, който по време на тестовите се доизгражда [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разтвор, съдържащ хлорни йони, стомана X18H10T в състояние на доставка и след лазерно обработване е подложена на питингова и процепна корозия. Лазерно претопеният слой демонстрира по-ниска склонност към питингова корозия в неутрален разтвор на Рингер. Стационарният потенциал на стомана X18H10T е с 139 mV по-отрицателен от този на лазерно обработена стомана. Отчетената разлика не е достатъчна (правило на Еванс) за възникване на галваничен корозионен елемент на границата основен метал – претопен слой. Това позволява да се използват лазерно заварени импланти от стомана X18H10T в неутрален разтвор на Рингер.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Hansen D. C., Metal Corrosion in the human body: the ultimate bio-corrosion scenario, The Electrochemical Society Interface, Summer 2008.

[2]. Stavrev D., Ts.Dikova, Vl. Shtarbakov, M. Milkov, Laser Surface Melting of Austenitic Cr-Ni Stainless Steel, Advanced Materials Research Vols. 264-265 (2011) pp 1287-1292.

За контакти:

Мариана Илиева; e-mail: mdilieva@uni-ruse.bg , РУ „Ангел Кънчев“, катедра MTM, гр. Русе 7017

Корозионна устойчивост на неръждаема стомана след студена пластична деформация

Автор: Ивелин Тодоров

Научни ръководители: гл. ас. д-р Мариана Илиева, ас. маг. Емил Янков

Целта на това проучване е да се определи влиянието на студено пластично деформиране – едноосен опън върху корозионната устойчивост на X18H10 аустенитна стомана. Образците от тази аустенитна стомана се подлагат на електрохимично изпитване с цел определяне на корозионната им устойчивост. От анализа на получените резултати се установява, че след едноосен опън се променя вида на корозионното разрушение - от преобладаваща процепна корозия преди пластична деформация към преобладаваща питингова корозия след пластична деформация.

Ключови думи: неръждаема стомана; електрохимична корозия; студена пластична деформация; процепна корозия; питингова корозия

ВЪВЕДЕНИЕ

Неръждаемите стомани са сплави на желязна основа, за които е характерна добра устойчивост към обща корозия, резултат от минимално съдържание на хром между 11 и 13 масови %. Минималното количество хром, което трябва да се съдържа в твърдия разтвор на неръждаемите стомани, е 11,7% масови процента. Това количество се определя съгласно правилото на Таман и се нарича граница на устойчивост. Корозионната устойчивост на неръждаемите стомани се определя от целостта на тънък пасивен слой Cr_2O_3 , който не позволява голяма скорост на корозия във водни разтвори. Всяко нарушение в целостта на този слой има за резултат локални видове корозия, такива като питингова и процепна корозия, както и корозионно напукване. С цел избягване на тези корозионни поражения са разработени множество неръждаеми стомани за работа в различни среди. Неръждаемите стомани могат да се класифицират по кристалографска структура като аустенитни, феритни, мартензитни и дуплексни, като последните съдържат приблизително равни количества аустенит и ферит. Докато всички неръждаеми стомани показват добра устойчивост към обща корозия, то те претърпяват в различна степен различни форми на локална корозия и корозия под напрежение. Устойчивостта към локалните видове корозия на неръждаемите стомани се променя в зависимост от съдържанието на легиращи елементи като Cr, Mo, W и N. Най-важните параметри на средата, които влияят върху корозионната устойчивост на неръждаемите стомани, са водородният показател на средата, наличие на редуктори в средата (условията за извършване на редукционни процеси), концентрацията на хлорни йони и температурата.

Цел на настоящата работа е изследване на влиянието на студента пластична деформация върху корозионното поведение на стомана. Тази цел е постигната чрез два теста: 1) изследване на изменението на свободния потенциал на образци от X18H10 от потапяне в електролита до установяване на постоянна стойност, наречена стационарен потенциал (Ест) и 2) външна анодна поляризация.

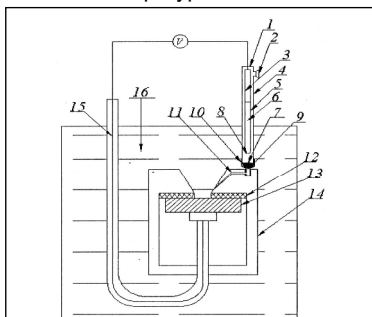
МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Образците представляват листов материал от стомана X18H10 с дебелина 0,8 mm и диаметър 25 mm. Част от тях са подложени на едномерен опън (пластична деформация), подробно описано в [1]. След прилагането на пластична деформация е изследвано електрохимичното поведение на недеформирани и деформирани проби.

Неръждаемите стомани са склонни към локални видове корозия, най-често междукристална, питингова и процепна. Питинговата и процепната корозия се

наблюдават в среди, съдържащи йони на халогенните елементи, от които най-агресивно действие има хлорът. Стандартна среда за електрохимични изпитвания на неръждаема стомана е 0,5 М (3%) воден разтвор NaCl. Тъй като корозионното поведение на неръждаемите стоманите в тази стандартна среда е добре описано в специализираната литература, в настоящата работа използваме среда, която осигурява същата концентрация на хлорни йони, но е с по-нисък pH. Използваният разтвор съдържа по-малко количество NaCl – 0,4 mol NaCl от стандартния разтвор. Стандартната концентрация на Cl^- е достигната чрез добавяне на 0,1 mol HCl, при което в разтвора се внася и 0,1 mol H^+ . Така приготвеният разтвор е с концентрация 0,4 M NaCl + 0,1 M HCl.

Проследяването на промяната на свободния потенциал се осъществява чрез съставяне на двueleктродна клетка, включваща стандартен сравнителен електрод - наситен каломелов електрод с потенциал спрямо водородния електрод +245 mV (при стайна температура), и изследваната проба - работен електрод. Обезмаслените проби се монтират в тefлонов държач, отворът на който осигурява постоянна повърхност на контакт с електролита (в случая 0,4 cm²). На разстояние 2 mm от тази повърхност през тefлоновото тяло е пробита капиляра на Лугин, завършваща при отвора с чашка, в която се поставя сравнителният електрод. Схемата на държача е показана на фигура 1.



Фиг.1. Схема на измерване на свободния потенциал: 1 – НКЕ; 2 – отвор; 3 – Hg; 4 – външна тръба, запълнена със воден разтвор на KCl; 5 – вътрешна тръба; 6 – Hg, Hg₂Cl₂, KCl – паста; 7 – KCl кристали; 8 – малък отвор свързващ двете тръби; 9 – мембрана; 10 – чашка; 11 – капиляра на Лугин; 12 – гумен уплътнител; 13 – образец; 14 – тefлонов държач; 15 – проводник; 16 – разтвор на електролит

Външната анодна поляризация е осъществена с помощта на потенциостат RADELKIS OH - 405, към който е свързана стандартна триелектродна клетка, в която изучаваният образец е работен електрод, сравнителен е каломелов електрод, а като противоелектрод е използван платинов електрод. Потенциалът е променян от -555 mV до +1200 mV със скорост 1mV/s. Данните и от двата теста са събрани с помощта на аналогово-цифров преобразувател NIUSB-6008, и след това са обработени с помощта на електронна таблица.

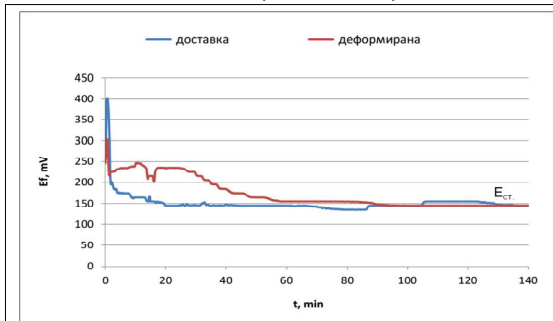
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Фигури 2 и 3 илюстрират резултатите от електрохимичните тестове. Изменението на свободните потенциали E_f на стоманата в състояние на доставка и след деформиране се различава само в първите 40 минути от теста, когато деформираният образец демонстрира по-положителни стойности на свободния потенциал. Следващото задържане в разтвора на деформирания образец води до достигане на

стационарна стойност на потенциала, равна на тази на пробата в състояние на доставка. Това показва, че при експлоатация на стоманата в състояние на доставка и на деформирана стомана в среда, съдържаща активните йони на използвания разтвор, и без наложена външна поляризация, едноосният опън няма да оказва влияние върху поведението на X18H10.

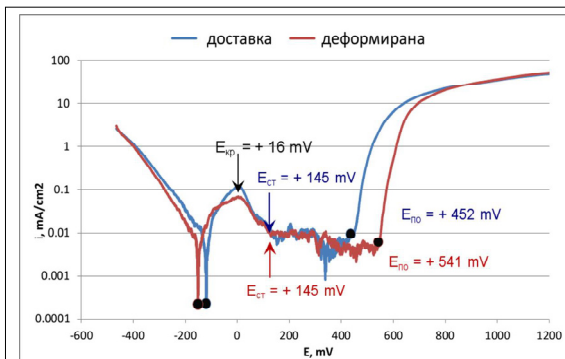
Началната катодна поляризация и следващата анодна до потенциали около

-150 mV на образците показват улеснена катодна реакция (фигура 3). С увеличаване на дълбочината на поляризация скоростта на тази реакция намалява за сметка на



Фиг. 2. Изменение на свободните потенциали на стомана X18H10 в състояние на доставка и след пластична деформация

Последните попадат в участъците на пасивно състояние на ПДК, предизвикано от анодна поляризация при потенциали, по-положителни от потенциалите на корозия Екор. и от критичните потенциали на пасивация Екр. (+16 mV и за двете проби). Това положение на стационарните потенциали



Фиг. 3. Потенциодинамични криви (ПДК) на стомана X18H10 в състояние на доставка и след пластична деформация

предполагат установяване на стационарни стойности на потенциалите на пробите, т. е. не предизвикват външна поляризация. Пасивно състояние образците запазват до достигане на потенциалите на питингообразуване Епо, които са +541 mV за деформираната стомана и +452 mV за стоманата в състояние на доставка. Сравнението между тези две стойности показва, че деформираната стомана има с 89 mV по-положителен потенциал на питингообразуване, което е практически незначима разлика. По такъв начин резултатите от външната анодна поляризация показват, че пластичната деформация не променя електрохимичните характеристики на стоманата в използвания разтвор.

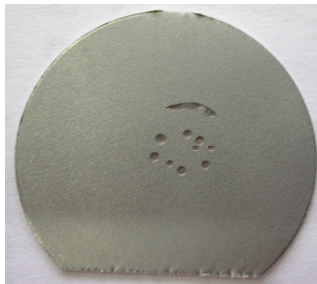
На фигура 4 се виждат повърхностите на образците след електрохимичните тестове. За да се обяснят наблюдаваните корозионни разрушения, трябва да се вземат предвид следните факти:

анодното разтваряне на пробите, така че изравняване на скоростите на двете реакции (катодна и анодна) се достига при потенциал -151 mV за деформирания образец и -120 mV за образца в състояние на доставка. Тези стойности практически съвпадат и представляват потенциалите на корозия Екор. на пробите, и както се вижда от фигура 3, са по-отрицателни от измерените стационарни потенциали.

върху потенциодинамичните криви (ПДК) говори за разтваряне с ниска скорост (анодната плътност на тока в пасивната област е около 0,01 mA/cm²) и на двете проби в използвания разтвор в условия, които



а) недеформирана стомана



б) деформирана стомана

Фиг. 4. Външен вид на пробите след електрохимичните тестове

1) по време на електрохимичните тестове различни участъци от изпитваната повърхност контактуват с електролит с различен състав;

2) пасивният слой върху стоманите е със случайно разпределени дефекти.

Пробата в състояние на доставка показва значителни корозионни разрушения на границата между изпитваната повърхност и гумения уплътнител в държача – фигура 4 а. Тези разрушения представляват процепна корозия. Те са причинени от възникването на концентрационен корозионен елемент в границата между гумения уплътнител и изпитваната повърхност [лекция 3.2]. В използвания разтвор, поради присъствието на разтворен от въздуха кислород, освен водородната деполяризация $H^+ + e^- \rightarrow H_2$,

се извършва и кислородна деполяризация по реакцията:



В началото на анодната поляризация, в катодната част на ПДК, кислородът в процепа между уплътнителя и образеца се консумира в катодната реакция. В същото време, пасивният слой Cr_2O_3 , който е нестабилен при рН под 4, се разрушава в резултат на действието на киселата среда и на активния депасиватор Cl^- . Едно от свойствата на пасивния слой върху неръждаемите стомани е способността му да се самовъзстановява. В процепа между пробата и уплътнителя, поради реакцията на кислородната деполяризация, се достига до критична концентрация на O_2 , която не позволява в този участък от повърхността пасивният слой да се самовъзстанови. Така, при следваща анодна поляризация над потенциала на корозия, там започва локално корозионно разрушение - процепна корозия.

Дефектите в пасивния слой са случайно разпределени, и при наличие на слабо място (дефект, участък с по-малка дебелина), поляризацията над потенциала на корозия предизвиква локално анодно разтваряне на повърхността с дефектен пасивен слой. В случая на недеформиран образец пасивният слой е по-съвършен от този върху деформираната стомана - върху недеформираната проба след снемане на ПДК се наблюдават само два питинга. Липсата на други питинги говори за стабилен пасивен слой.

Разликите в средата, контактуваща с различните участъци от повърхността, водят до различни видове локална корозия. Високата плътност на анодния ток от формиране и нарастване на питингите предизвиква катодна защита на металната повърхност, непосредствено прилежаща до питингите (при това ролята на протектор е на питингите). По този начин разпространението им е ограничено. Необходимостта обаче от равенство на анодния и катодния ток води до разтваряне на анодните участъци (с малка площ) с голяма скорост, т. е. до висока плътност на анодния ток и

големи по размер корозионни разрушения. Повърхността около питингите играе ролята на катод с голяма площ - защитена е и от пасивен слой, и електрохимично. Това (заедно с външната поляризация) не позволява тя да компенсира катодния ток. В резултат процесите на анодно разтваряне, стремящи се да осигурят необходимите за катодната реакция електрони, са съсредоточени в процепа, около първоначалните случайно възникнали корозионни разрушения, нараснали при следващата анодна поляризация. Локализирането на анодната реакция в процепа води до

местно подкиселяване на средата от хидролиза: $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$; като това допълнително намалява стабилността на пасивния слой в процепа. Освен повишената агресивност на средата, отделянето на водородни йони в процепа предоставя възможност за насищане на метала с водород. Това причинява водородна крехкост, а в уячени сплави - и водородно напукване.

Повърхността на деформираният образец показва, че в резултат на електрохимичните тестове и върху него са настъпили разрушения във вид на процепна и питингова корозия – фигура 4 б. Тук обаче броят на питингите е по-голям, а площта, засегната от процепна корозия – по-малка. Пасивният слой върху деформираната стомана е с повече слаби места, което е позволило зараждането и развитието на повече питинги, отколкото върху недеформираната стомана. Тези питинги компенсират катодния ток, така че съсредоточаването на корозионните процеси в процепа е в много по-малка степен, както се вижда и от фигура 4 б.

По-несъвършеният пасивен слой върху деформирания образец е резултат от процесите при пластична деформация - известно е, че в резултат на деформацията на повърхността на метала се появяват линии на Людерс (ивици на плъзгане), върху които пасивният слой е с по-малка дебелина и по-дефектна сруктура [2].

ИЗВОДИ

1. Електрохимичните характеристики на стомана X18H10 в 0,1 М HCl + 0,4 М NaCl не се влияят от пластичната деформация едномерен опън.

2. Едномерният опън на стомана X18H10 води до промяна на корозионното разрушение в 0,1 М HCl + 0,4 М NaCl – от преобладаваща процепна корозия преди пластична деформация към преобладаваща питингова корозия след пластична деформация.

3. Не се препоръчва стомана X18H10 да работи в кисела среда в условия, предполагащи застояване на средата и следваща процепна корозия, тъй като това предизвиква водородна крехкост и водородно напукване.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Емил Янков, Мария Николова, Ваня Захаријева, Валентин Гагов, Данаил Господинов, Промени в механичните свойства на аустенитни листови материали при едномерен опън, НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2013, том 52, серия 2.

[2]. Д.Бучков, М.Кънев, Материалознание, "Техника", София, 1998.

За контакти:

Мариана Илиева; e-mail: mdilieva@uni-ruse.bg , РУ „Ангел Кънчев“, катедра МТМ, гр. Русе 7017

Възможност за определяне на якостта на листови материали след едномерен опън чрез измерване на твърдост

Автор: Деница Филева

Научни ръководители: ас. маг. Емил Янков, доц. д-р Данаил Господинов

Abstract: The objective of this investigation was to define the influence of cold plastic deformation on the mechanical of X5CrNi18-10 austenitic sheet steel. During the operation of the webs of X5CrNi18-10 changes in mechanical properties due to cyclic loading. Some of the properties are mechanical strength and hardness. These changes can lead to tenderness, and from there to the occurrence of burst during operation. One of the main problems is the prediction of their mechanical behavior. One of the easiest ways to determine this is by measuring the hardness of the surface of the sheet material and the relationship between the mechanical strength and the degree of deformation. The major drawback of this approach and these materials in general, is the unpredictable mechanical properties at exploitation.

Key words: chromium–nickel austenitic sheet steel, uniaxial tensile, tensile strength, relative Extension, a real deformation, equivalent tension, Vickers hardness.

ВЪВЕДЕНИЕ

Изпитването на едномерен опън е едно от най-разпространеното статично изпитване. То има някои предимства пред останалите механични изпитания: сравнително лесен анализ и обработка на резултатите, като при това могат да бъдат определени едновременно няколко механични показатели на материала, явяващи се критерии за качеството му както при конструктивно, така и при технологично проектиране. Използваната изпитвателна машина не е със сложна конструкция и се обслужва лесно, а измервателната апаратура позволява достигането на достатъчна висока точност. Съчетавайки изпитвателната машина с компютърната система и подходящ софтуер се дава възможност за контролиране процеса на изпитване, а също така контролира нормалното протичане и осъществяване на регистрирането, обработването и предоставянето на опитните резултати в достъпен за преработване практически вид.

По време на експлоатацията на листовите материали от X5CrNi18-10 настъпват промени в механичните свойства, дължащи се на цикличното натоварване. Едни от свойствата са механичната якост и твърдост. Тези промени могат да доведат до крехкост, а от там и до настъпване на разрушаване в процеса на експлоатация. Един от основните проблеми е предсказването на тяхното механично поведение. Един от най-лесните начини за определяне на това е чрез измерване на твърдостта по повърхността на листовия материал и връзката между механичната якост и степента на деформиране, т.е. знаейки твърдостта чрез измерване можем да определим каква деформация е протекла и каква е механичната якост.

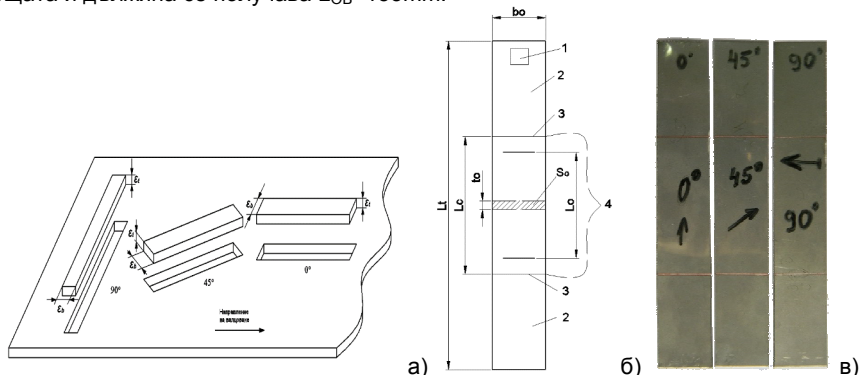
Целта на настоящата работа е да се определят механичните свойства на листов материал при едномерен опън чрез измерване на твърдост.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

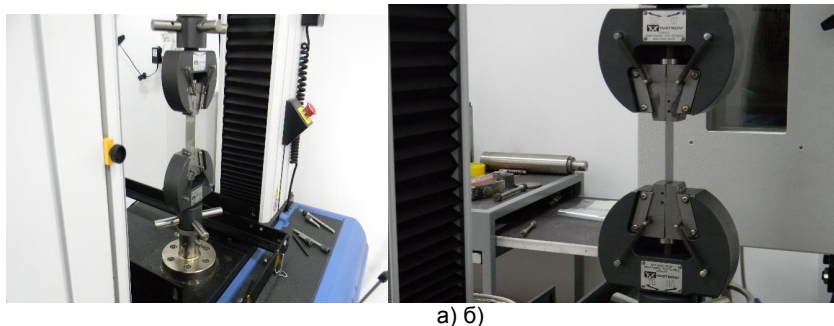
Пробните тела за едномерен опън се разкрояват от листов материал с размери 1000x2000mm и дебелина $t_0=0.6\text{mm}$ от стомана X5CrNi18-10 (AISI 304, DIN 1.4301, SUS304, GOST07Ch18N10) по три направления - направление съпадащо (0°), перпендикулярно (90°) и склукващо ъгъл четирист и пет градуса (45°) спрямо посоката на валцоване (фиг.1.а.).

Изпитването на едномерен опън се осъществява с помощта на пробни тела (фиг.1.), чиято форма и размери е изработена по стандарт ISO-6892-1-2009. Изпитвания образец включва работна част (L_C), начална изчислителна дължина (L_0) и зона за закрепване в челюстите на изпитвателната машина. Препоръчаната

ширината на лентата b_0 по стандарта е 25 ± 1 mm и начална изчислителна дължина L_0 за изпитване 50 mm, а работната дължина на изпитание е L_c да не е по-малко от 57 mm, т.е. избрана е $L_c = 65$ mm. Зоната за захващане на заготовката са с ширината, равна на b_0 , а дължината $L_{оп} = 45$ mm. При така подбраните размери на заготовката общата и дължина се получава $L_{об} = 155$ mm.



Фиг. 1. Пробни тела за едномерен опън от X5CrNi18-10: а) разкрояване на листовия материал б) схема с основни параметри по стандарт ISO-6892-1, в) общ вид на образца, 1- място за маркиране, 2 - зона на захващане, 3 - реперни линии, 4 – работна зона, $L_0 = 50$ mm, $L_c = 65$ mm, $t_o = 0,6$ mm, $L_t = 45$ mm и $b_o = 25 \pm 1$ mm



Фиг. 2. Закрепени заготовки от X5CrNi18-10: а) преди изпитването; б) след приложен едноосен опън

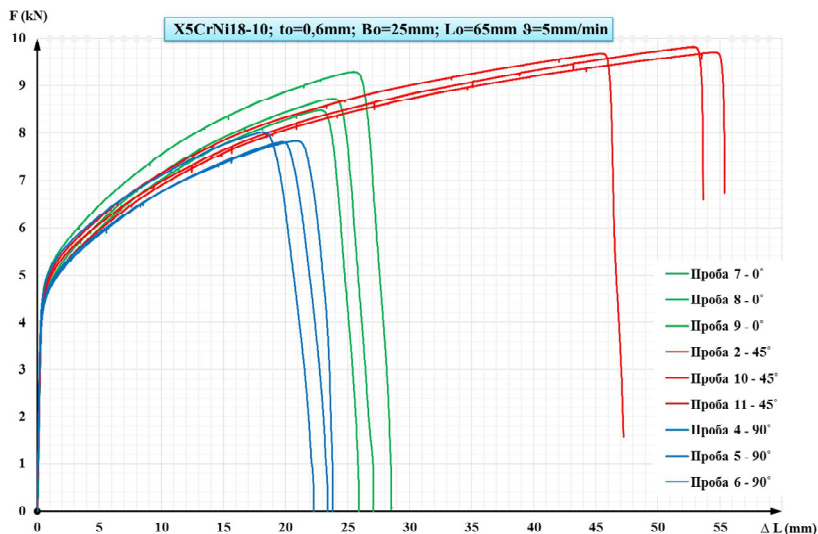
Изпитването на едномерен опън се извършва на универсална изпитвателна машина „Instron-3384“ с контролирана скорост 5 mm/min до съответната степен на деформация или до настъпване на разрушение (падане на натоварването с 100 N или силата до 90%). Изпитвателната машина е оборудвана персонална компютърна система със софтуерния пакет „Bluehill-3“. В него се създава метода за изпитване на едноосен опън, размерите на пробните тела и записване на резултатите в първичната диаграма сила-преместване. Изпитанието на опън се повтаря като натоварването се извършва при по-високи стойности и през равни интервали на деформиране до максималната якост на материала определена от първия опит по различните направления 0° , 45° , 90° .

Определянето на твърдостта на листовата стомана е направено в състояние на доставка и след определен етап на деформиране по метода на Викерс със

стационарен твърдомер „Vickers Hardness Tester 432 SVD“. За определяне на твърдостта при различните етапи на деформиране ще се използват изпитаните образци, които се смъкват от изпитвателната машина за определени интервали на деформиране. Извършват се 10 последователни измервания през стъпка 0,5mm с предварително определено натоварване $F_v=5\text{kg}$ и задържане 10 секунди така, че дълбочината на проникване h_v на индентора да не надвишава $1/10$ от дебелината на листа[2]. Получените стойности за твърдостта се осредняват спрямо степента на деформиране и се нанасят в Excel.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

Получените резултати от изпитването на едномерен опън с три последователни проби за всяко направление (0° , 45° , 90°) са събрани и обобщени в единна обобщена диаграма (фиг.1) сила-абсолютно удължение. Проба 1 е със сравнително по-ниска стойност на натоварване 3mm/min, а проба 3 бе за първоначално определяне на скоростта на натоварване и силата на притискане на захващащите челюсти. Затова тези две проби са изключени от по-нататъшните изследвания. За построената обобщена зависимост прави впечатление, че образците отрязани под 45° спрямо посоката на валцоване имат най-голямо удължение. Разликата от благоприятното направление на изтегляне 0° е около 2 пъти повече. Предполага се, че това може да се дължи на благоприятните преориентации на зърната в кристалната решетка при тази посока на натоварване, получили се от предварителната обработка на материала. В този етап на пластично деформиране материалът се уякчава. Непрекъснатото намаляване на площта на напречното сечение на пробното тяло се компенсира от нарастването на съпротивлението срещу течение на метала в резултат на уякчаването. При пробите отрязани под 90° удължението е най-малко около 20mm, както и се предполага, че зърната са разположени най-неблагоприятно спрямо посоката на натоварване. Условните граници на провлачване за всички пробни тела е почти еднаква и варира около $R_{r0,2}=4,2\pm 4,6\text{kN}$, но въпреки това силата на опън в различните направления не е еднаква, т. е. за заготовките под 0° - $F=8,6\pm 9,3\text{kN}$; 45° - $F=9,6\pm 9,8\text{kN}$; 90° - $F=7,8\pm 8,0\text{kN}$.



Фиг.1. Първични диаграми на изпитаните образци след едномерен опън

Тъй като и натоварването F , и абсолютното удължение ΔL зависят от формата и размерите на изпитваните пробни тела, количествено сравнение между механичните показатели на различните материали по индикаторната диаграма е невъзможно. Затова натоварването F се отнася към началната площ на напречното сечение на образца A_0 , което отношение определя действащото напрежение:

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_i},$$

(1)

а абсолютното удължение ΔL към началната дължина L_0 , определя относителната деформация, която е показател за пластичността:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100\%.$$

(2)

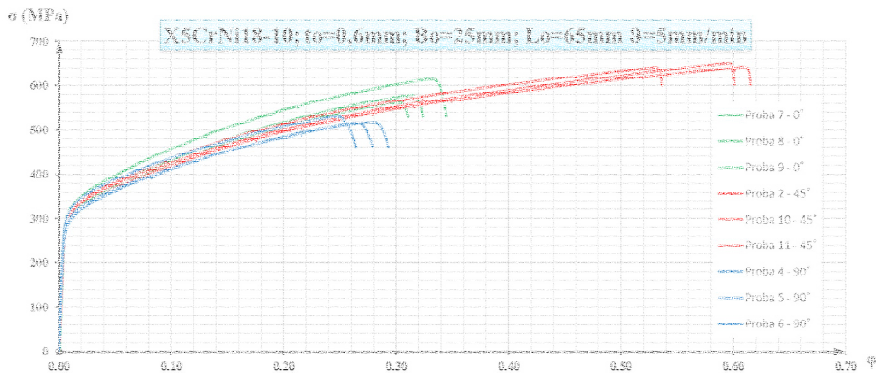
Истинските деформации (относително удължение) φ при едномерното напрегнато състояние се определят чрез логаритмичното отношение на дължината на пробното тяло в процеса на деформиране L_i към началната изчислителна дължина L_0 :

$$\varphi = \ln \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} = \ln \frac{L_i}{L_0}.$$

(3)

Логаритмична деформация, представлява независим от началните абсолютни размери на пробните тела показател на пластичността. Тя притежава и свойството адитивност.

От получената се обобщена диаграма сила-удължение $F=f_1(\Delta L)$ (фиг.1) за всички пробни тела се преизчисляват чрез зависимостите (1) и (3) от последователните етапи от опита и се получава диаграмата за уякчаване с координати истинските напрежения и деформации $\sigma=f_2(\varphi)$ (фиг.2).



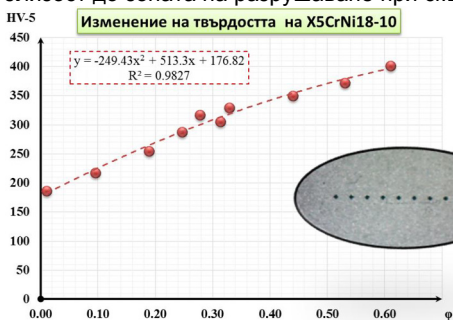
Фиг.2. Диаграми на истински напрежения и деформации за изпитаните образци

Получилите се диаграми представляват обобщена диаграма на уякчаване за изследвания материал по различните направления. Относителната деформация ε за различните заготовки по различните направления се колебае в интервалите: 0° - $\varepsilon = 0,35 \pm 0,40$; 45° - $\varepsilon = 0,70 \pm 0,82$; 90° - $\varepsilon = 0,27 \pm 0,31$, а истинската деформация е по ниска при различните направления подложени на едноосен опън, т.е. за заготовките под 0° - $\varphi = 0,30 \pm 0,33$; 45° - $\varphi = 0,53 \pm 0,61$; 90° - $\varphi = 0,25 \pm 0,28$.

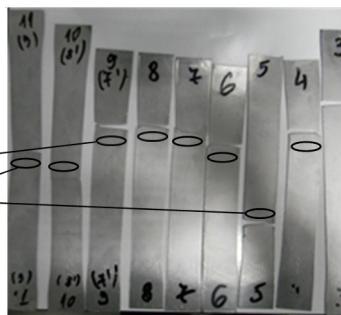
Получените резултати от едномерния опън могат да се използват при построяване на диаграмата за изменението на твърдостта по Викерс спрямо степента на деформация.

За дебелина на листовия материал $0,6\text{ mm}$ изчисления допустим размер на отпечатъка за квадрата трябва да е $a_v=0,1980\text{ mm}$, а оптималната сила на натоварване $F_v=5\text{ kg}$ определена експериментално. Тогава допустимите размери на диагоналите при това натоварване не трябва да надвишават $D1=D2=0,280\text{ mm}$, за да се спази условието за дълбочината на проникване $h_v=1/10$.

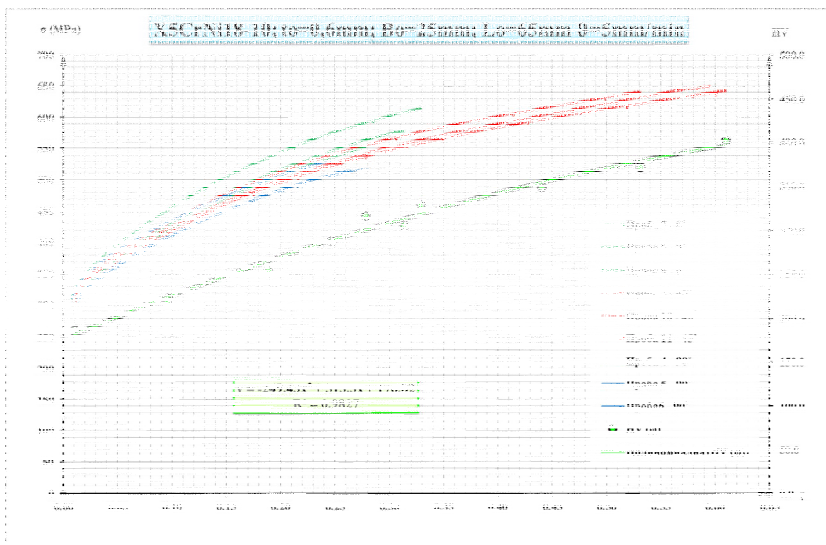
Върху деформираните пробни тела е измерена твърдостта в работната област и близо до зоната на разрушаване при скъсване.



Фиг. 3. Диаграми за изменение на твърдостта с нарастване на деформацията



Фиг. 4. Изпитани образци след едномерен опън



Фиг.5. Сравнителна диаграма за изменение на твърдостта с нарастване степента на деформация и якостта на опън

Получените резултати от измерената твърдост за всички образци за трите направления са нанесени във вече създадения Excel файл, като се отчита при каква степен на деформация е измерена твърдостта. От получената се връзка е

построена диаграма за изменение на твърдостта спрямо степента на деформиране (фиг.3). Прави впечатление, че с нарастването на степента на деформиране твърдостта нараства не по линеен закон, а по полиномен закон при доверителна вероятност близка до единица, т.е. $R^2=0,9827$. Получилата се диаграма ще бъде използвана за вмъкване в диаграмата напрежения – истински деформации. При налагане на получените се резултати от твърдостта върху диаграмата на истински напрежения и деформации стойностите на напреженията ще са по-високи с нарастване степента на деформация.

Сравнителната диаграма (фиг.5) дава възможност чрез измерването на твърдост на изделия от листов материал X5CrNi18-10 по метода на Викерс да се оредели степента на деформация, а така също и напреженията за съответните направления $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ спрямо посоката на валцоване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическото използване на създадения програмен модел в упражненията по дисциплината “Организация на компютъра” позволява да се направят следните изводи:

1. Пробите по различните направления $0^\circ, 45^\circ$ и 90° на листов материал показват различна механична якост и степен на деформация при еднакви условия на изпитване.
2. Необходими са допълнителни металографски изследвания за установяване по-голямата степен на деформация на пробите отрязани под 45° от листовия материал.
3. Твърдостта нараства с нарастване степента на деформация.
4. Изменението на твърдостта не се променя по линеен закон с нарастване степента на деформацията.
5. Необходими са допълнителни изследвания за потвърждаване на получената се зависимост от измерената твърдост.
6. Получилите се резултати могат да бъдат използвани за по-нататъшни изследвания на материала при по-сложни схеми на натоварване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Христов С., „Изпитване и дефектоскопия на металите“, София, Печ. ТУ-София, 1988;
- [2]. Тончев. Н., Относно формализирането и тенденциите за развитие на материали със специализирано приложение, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2011, стр. 33-38, ISSN 1312-3823;
- [3]. Янков Е., М. Николова, В. Захариева, В. Гагов, Д. Господинов, Промени в механичните свойства на аустенитни листови материали при едномерен опън, В: Научни трудови на РУСГУ, Русе, 2013, стр. 152-157, Том52, серия 2, ISSN 1311-3321;
- [4]. Янков Е., М. Николова, В. Захариева, Фазово превръщане на аустенитни листови материали при едномерен опън на студена пластична деформация, В: Научни трудови на РУСГУ, Русе, 2013, стр. 158 – 164,
- [5]. Das A., P. C. Chakraborti, S. Tarafder, H. K. D. H. Bhadeshia, Analysis of deformation induced martensitic transformation in stainless steels Materials Science and Technology 2011 VOL 27 NO 1 pp.366-369;

За контакти:

Деница Романова Филева, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Специалност “Мениджмънт на качеството и метрология”, e-mail: romanova.fileva@abv.bg.

ас. маг. инж. Емил Янков, Русенски университет "Ангел Кънчев", Катедра „Материалознание и технология на материалите“, тел.: 082-888 205, к-т 3.209, e-mail: eyankov@uni-ruse.bg.

Технологии за бързо прототипиране в леярското производство

Автор: Теодор Колев, Ерджан Осман
Научен ръководител: доц. д-р Руси Минев

The paper reviews the basic RP technologies giving information on their capabilities, such as accuracy, and surface quality. It gives a short description of the most popular processes which are utilized in the foundry industry for preparation of sacrificial patterns for precision investment casting processes.

The paper describes a 'RepRap' (replicating rapid prototype Velleman K8200 3D printer) machine which was assembled, commissioned and tested during the ongoing project. The machine was used to produce casting patterns. More particularly a 'pyramid' test parts were produced to study the dimensional accuracy of the building envelop. The results are shortly analyzed from the point of view of the technology utilization

Key words: Rapid Prototyping, Investment casting

КАКВО Е БЪРЗО ПРОТОТИПИРАНЕ?

Бързото прототипиране (Rapid Prototyping - RP) е общ термин за редица технологии, позволяващи компонентите да бъдат произведени без конвенционална инструментална екипировка, и без да се ангажират квалифицирани моделчици [1].

При обикновените производствени се променя геометрията чрез премахване на части от материала докато се постигне крайната форма, например: фрезование и стругване. За разлика от тях, RP технологиите са добавъчни процеси при които детайлите се построяват постепенно на слоеве докато се получи крайната геометрия.

Отправната точка за RP процеса е 3D CAD модел, изготвен и експортиран във специален формат. И други формати могат да бъдат използвани за създаване на RP компоненти: файлове, получени от медицински приложения, например MRI и CAT сканиране както и данни, генерирани от инженерно сканиране или оптични системи. Какъвто и да е източника на първоначалните данни те са преформатирани в STL файл, послойно нарязан, като всеки отделен слой се подава на контролера на RP процеса. По този начин се създава физически модел.

Основните приложения на бързото прототипиране са: Концептуални модели; Функционални или полу-функционални компоненти; Еталонни модели; Директна инструментална екипировка

ТИПОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА БЪРЗО ПРОТОТИПИРАНЕ

Технологиите за RP се основават на следните пет основни процеси.

- (I) **Процес на втвърдяване** - когато фоточувствителен полимер е изложен на източник на светлина с цел да бъде втвърден чрез фотополимеризация.
- (II) **Процес използващ „листи“** - когато тънки листове от материал са изрязани и подредени една върху друга.
- (III) **Процес на отлагане в течно състояние** - когато даден материал се разтопи и след това се депозира или като гореща жичка, или като отделни горещи капчици.
- (IV) **Процес на синтероване** - когато частиците на прахообразен материал се синтерват с помощта на топлинен източник, обикновено лазерен лъч.
- (V) **Процес на инфилтриране** - когато течно свързващо вещество се депозира върху прахообразен материал за да се свърже заедно частиците на праха.

Едно изследване направено още през 1999 г. идентифицира около четиридесет технологични подхода за RP. Само някои от тях са достигнали зрялост (Таблица 1)

Таблица 1 Основни RP системи

Метод		Предимства	Недостатъци
SLA	Стереолитография	Качествена повърхност; Сложна геометрия; Добра точност	Подкрепящи структури; Частите се деформират Изпаренията са вредни
SLS	Селективно лазерно синтероване	Не е необходимо досинтероване Не са нужни допълнителни подпорни структури; Широка гама от материали.	Повърхностите са порести Продължително време и значителна енергия; При производство на модели за прецизно леене се изисква допълнителна обработка; Значителни деформации
LOM	Моделиране чрез ламиниране	Детайлите могат допълнително да се обработват (шлайфат, пробиват); Възможност за изработка на големи детайли бързо и евтино	Тънките стени имат ниска якост и лесно абсорбират влага; Повърхността е лоша Отделянето на детайлите е трудно.
FDM	Моделиране посредством отлагане чрез разтопяване	Широка гама от полимерни материали Машините лесно се настройват и използват в офис среда.	Подпорни структури; Ниска якост във вертикално направление; Процесът е бавен за Грапава и 'текстурирана' външна повърхност Проблематични за инструментално производство.
MJM	Много-струйно отлагане	Подходящ за офис среда. Времето за изграждане е кратко	Подпорките се отстраняват и оставят следи, което ограничава използването им за модели за леене. Якостта е ниска;
3DP	Триизмерен печат	Къси срокове и евтини суровини Няма подкрепящи структури Сложна геометрия.	Крепки детайли, изискват инфилтрация Грапава повърхност

СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ (SLA)

Това е една от най-старите RP технологии (1980 г.). Използва се за направата на части със сложна геометрия и високо качество на повърхността. Както и за изготвяне на модели за силиконови форми за вакуумно или реакционно шприцване. Вътрешната структура на модела може да се състои от шестоъгълни клетки ("QuickCast") и тогава те могат да се използват в прецизното леене по еднократен стопяем/изпаряем модел.

СЕЛЕКТИВНО ЛАЗЕРНО СИНТЕРОВАНЕ (SLS)

Методът позволява изработване на полу-функционални детайли със сложна геометрия, от разнообразни материали. Прахообразните материали ограничават качеството на повърхността. Може да се построява инструментална екипировка директно чрез използване на метален прах и процес наречен „Бърз инструмент“.

МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ЛАМИНИРАНЕ (LOM)

Описва се като превръщане на хартия в дърво и се използва за направата на дървени модели за леене. Моделите са износоустойчиви и многократно използвани. LOM е евтините технология, подходящ за големи детайли с умерена сложност.

МОДЕЛИРАНЕ ПОСРЕДСТВОМ ОТЛАГАНЕ НА РАЗТОПЕН МАТЕРИАЛ (FDM)

Технологията е предназначена за „концептуално моделиране“, защото моделите имат недостатъчна якост и повърхността им е лоша в сравнение например с SLA. Концептуалните модели са предназначени за проверка за наличието на конструктивни грешки и като инструмент за комуникация. През последните години Stratasys са създали машини за функционални модели.

МНОГОСТРУЙНО ОТЛАГАНЕ (MJM)

Принадлежи към класа на „концептуалното моделиране“ и за създаване на въсърни модели за прецизно леене.

ТРИИЗМЕРЕН ПЕЧАТ (3DP)

Разработен е от Масачузетския технологичен институт (MIT), и е лицензиран от 'Z Corporation' и PROMETAL за инструментална екипировка. Компонентите се използват за изследване на геометричната съвместимост. След подходящо импрегниране, те могат да бъдат използвани като модели в процеса на прецизното леене.

Свойства, геометрична точност и перспективи

Тъй като RP детайлите са направени чрез добавъчни процеси, те могат да имат свойства, които са доста различни от детайли, направени от конвенционални процеси. Трудно е да се сравняват свойствата на RP детайлите, тъй като те зависят не само от използвания материал, но и от посоката на изграждането им.

RP детайлите са построени послойно и грапавостта на повърхността е повлияна от три основни фактора: дебелина на слоя, ъгъл на изграждане и вид на материала.

Дебелината (h) на всеки слой на RP детайл комбинирана с ъгъла на изграждане спрямо хоризонталната повърхност (α) образуват стъпален ефект. За $\alpha=90^\circ$ грапавостта на повърхността ще бъде по-слабо повлияна, но за други стойности на α неговото влияние ще бъде значително. Влиянието на дебелината на слоя върху грапавостта по същество не зависи от RP технологията, която се използва, а ъгълът α зависи най-вече от геометрията на детайла, но също така и от вида на RP технологията.

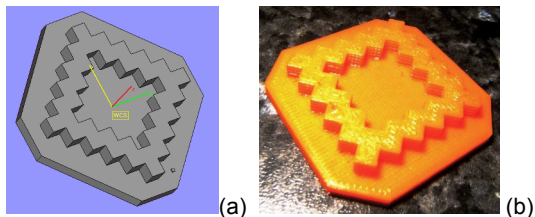
Съставът на материала е третия фактор влияещ на грапавост на повърхността. Той се отнася примерно до големината на зърната на прахообразната фракция.

Тези три компонента се комбинират и тяхното съвместно влияние не е лесно да се предвиди. Все пак, тъгълът на изграждане е особено важен и RP потребителят трябва да е наясно коя повърхност на компонента трябва да има най-добра повърхност, за да определи правилната му ориентация. Моделите могат да страдат и от последващо изкривяване.

Основна тенденция в развитието на RP са офис-базирани 3D принтери за концептуални модели, като стандартната PC периферия. Системите ще намалят времето на изграждане до 10 пъти. Освен това, ще бъдат усъвършенствани процесите за пряко изготвяне на инструментална екипировка, а прототипните полимерни детайли ще се превърнат в масови. Ще стане възможно масовото производство на метални компоненти директно от RP техники. За сега търговски достъпните системи за метални компоненти са малко. Те включват: Селективно лазерно формоване (LENS) от Optomec; Директно светлинно формоване (DLF) от National Laboratory Аламос; Контролирано натрупване на метал (CMB) от Fraunhofer IPT; Директно метално формоване (DMF) Rockwell Scientific; Директно метално отлагане (DMD), Селективно лазерно топене (SLM) от MCP.

3. Изследване възможностите на FDM 3D принтер Velleman K8200

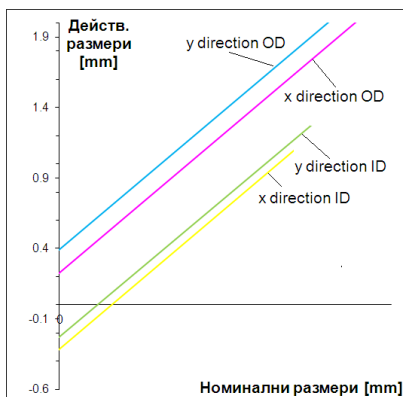
Главните фактори, които влияят на точността на FDM системите са: термичното свиване на материала и размера на екструдирания струя. За изследване на тези фактори, определяне на точността на процеса и неговото калибриране беше построено пробно тяло тип 'пирамида' (Фиг.1) от PLA. Резултатите от измерването и сравняването на номиналните размери на пирамидата и действителните, измерени с цифров шублер са показани в Таблица 2.



Фиг.1. CAD файл на 'пирамидата' (a) и построена 'пирамида' (b)

Таблица 2 Сравнение на размери на пробно тяло ('пирамида')

Параметри на принтера	Действителни размери, mm	Номинални размери, mm
FDM технология, работеща с материалите ABS и PLA. PLA е предназначен за леярски стопяеми/изпаряеми модели. Максимална скорост на печат: 150-300 mm/s. Точност на позициониране (X и Y): 0.015 mm и по Z: 0.781 mm. Резолюция (X и Y): 0.5 mm, а по Z: 0.25 mm. Използван софтуер: Repetier	5.42	5.00
	5.35	5.00
	15.31	15.00
	15.31	15.00
	25.37	25.00
	25.28	25.00
	35.32	35.00
	35.29	35.00
	45.33	45.00
	45.19	45.00
	55.2	55.00



Фиг.2. Резултати от линейна интерполация на функцията „Номинални действителни размери“ (външни – OD и вътрешни – ID) в направление x и y на пробното тяло

Графичното сравняване на резултатите в координати 'номинални размери - действителни размери' са показани на Фиг.2. Ъгълът на наклона на интерполационната права показва мащабния коефициент с който трябва да се променят размерите на построяваните тела ($\kappa=0.997$). Отреза, който правата отсича от ординатната ос дава големината на систематичната грешка, дължаща се на размера на екструдирания струя, която се отлага върху образеца (средно: $d=0.2\text{mm}$).

Вижда се, че факторът 'размер на екструдирания струя' е значително по-съществен и следва да се има пред вид при тримерното проектиране на изделията или да се въвежда при подготовката на данните за построяване на телата.

ИЗВОДИ

Точността и свойствата на RP детайлите зависят от множество взаимодействащи фактори. Повечето от процесите са подходящи за концептуални, функционални модели и леярски модели (стопяеми, изпаряеми или многократни). Някои от процесите могат да се използват за прототипни инструменти.

Изследвания принтер Velleman K8200 има точност която зависи преимуществено от дебелината на екструдирания струя и в по-малка степен от свиването на материала. Резултатите се съгласуват с параметрите представени от производителите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Steve Upcraft and Richard Fletcher, The Rapid Prototyping Technologies, Assembly and Automation, v.23 Iss: 4,(2003) DOI:10.1108/01445150310698634, pp.318-330
- [2]. Y. Tang et al., Accuracy Analysis and Improvement for Direct Laser Sintering, Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST), Singapore (2004), <http://hdl.handle.net/1721.1/3898>
- [3]. N.Hopkinson, T. Sercomb, Process repeatability and sources of error in indirect SLS of aluminium et al., Rapid Prototyping Journal, v.14. No2 (2008), pp.108-113

За контакти:

Доц. д-р Руси Минев; e-mail: rus@uni-ruse.bg , РУ „Ангел Кънчев“, катедра MTM, гр. Русе

RepRap проект- особености, осъществяване и възможности за използване в обучението на студенти и в практиката

Автор: Андрей Дуницов

Научен ръководител: ас. д-р Екатерина Минев

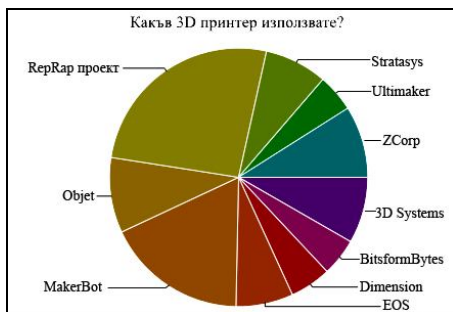
Summary: RepRap Project – Specifics, Realisation and Opportunity for Educational and Commercial Application. The paper reviews the Replicating Rapid Prototyper (RepRap) technology as a specific and fast growing brunch of Rapid Prototyping domain. On the basis of the review, Velleman K8200 is chosen for assembling and testing. The specifics during the commissioning of the equipment are described and discussed separately for the mechanical hardware, electrical/electronic hardware and the software. The early tests with PLA and ABS build materials are presented and the differences between the materials are analysed. Conclusions about application of RepRap equipment for education, commercial utilisation and research are presented.

Key words: RepRap, Rapid Prototyping, 3D printer

Въведение

RepRap е съкращение от replicating rapid prototyper – самопроизвеждаща се машина за бързо прототипиране [1]. Технологията RepRap е въведена през 2005 г. от Ейдриан Боуер - професор в университета в Бат, Великобритания.

3D принтерът от този клас е съставен от пластмасови детайли, които той би трябвало сам да може да произведе. По този начин заедно със стандартни и широко достъпни компоненти като електромотори, ремъци, електронни елементи, а така също и свободно разпространяващ се софтуер, да стане възможно възпроизвеждането на самата машина в непромишлени условия. Една от основните цели на проекта RepRap е внедряването на подобни 3D принтери в домашни условия за широко приложение предназначен за хоби ентусиаста в областта на техниката и изкуството [13]. Последна стъпка в цялостната технология е работата след 2013 година по създаването на достъпна машина за производство на нишка за изграждането на детайлите. Така цената на материала би намалела значително, създавайки условия за любителско експериментиране и изследване в областта на материалите. Към момента съществуват повече от 20 производители на RepRap машини [2,6,9,10]. Според броя на потребителите това е най-разпространеният вариант на 3D принтери (Фиг. 1) [4].



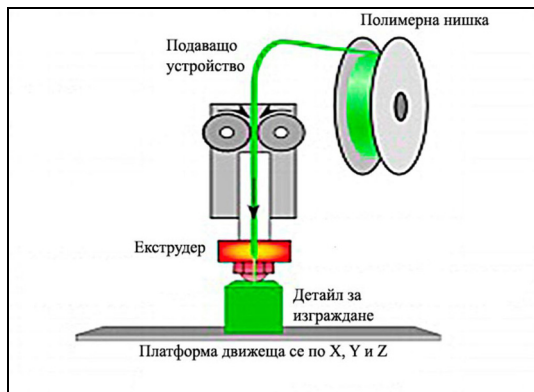
Фиг. 1. Брой потребители на най-разпространените 3D принтери [4]

Поради отворения достъп до цялостната среда на RepRap технологията, една съществена област на нейното приложение е образованието. Чрез подобни проекти се развива интердисциплинарното обучение на студентите, а чрез работата в екип и

т.н. soft skills, като важни за бъдещата реализация на специалистите. Значението и ролята на практическите проекти, изпълнявани от студентите е дискутирано в множество изследвания [11].

Принцип на работа на RepRap принтерите

Както при всички 3D принтери, RepRap технологията е базирана на изграждане на детайлите по слоеве. Принципът, който е заложен е подобен на Fused Deposition Modeling (FDM), но поради запазена марка в този случай е прието да се използва термина Fused Filament Fabrication (FFF). Това е система състояща се от макара с полимерна нишка, която се подава чрез ролков механизъм задвижван от стъпков електромотор към екструдер. Екструдерът разтапя нишката и я нанася върху предварително подгрятата платформа, която се движи в направления X и Y и по този начин формира геометрията на всеки слой. След изграждането на слоя екструдерът или платформата се преместват във височина по оста Z със стъпка равна на зададената дебелина на слоя и се започва оформянето на следващия слой. Така чрез последователно добавяне и свързване на слоевете един над друг се изгражда обемно тяло. Схемата на процеса е показана на Фигура 2 [3].



Фиг. 2. Схема на процеса FFF заложен в технологията RepRap [3]

Избор на RepRap оборудване

Критериите за избор на принтер са от техническо и икономическо естество. По-важните от тях са [12]:

- цената на машината и съпътстващото спомагателно оборудване;
- обхвата на възможните материали за изграждане на детайлите;
- максималните размери на работната зона и изградените детайли;
- получаваната размерна точност по x, y и z и качеството на повърхността;
- скорост на изграждане на детайлите;
- производствената цена на получаваните детайли като комплексна оценка на времето, материала, труда, рандемана и др.
- видът на технологията за изграждане и произтичащите от нея особености в механическите качества на детайлите, нужното спомагателно оборудване, безопасност труда, екологически съображения и др.

За разглеждания проект, като определящи бяха избрани следните критерии:

- цена до 1800 лева, заедно с начален набор от материали;

- наличие най-малко на два материала с различно приложение – за изграждане на функционални детайли и за изграждане на разтопяеми леярски модели;
- да осигурява изграждането на възможно по-големи детайли;
- детайлите да са с приемлива точност и качество на повърхността;
- максимална възможност за контрол над технологичните параметри;
- ръководство за сглобяване с добро обяснение и илюстрации.

В допълнение беше взето под внимание изискването сглобяването и работата с апарата, да са подходящи за обучение на студенти по машиностроителни и електротехнически специалности към Русенския университет.

Финансовите средства за разглеждания проект са предоставено от университетския фонд за научни изследвания на Русенски университет за 2014 година. На базата на отпуснатите средства и направеното проучване основно в интернет, беше избран апарата Velleman K8200 [5, 7, 8].

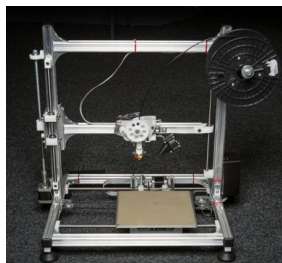
Основните характеристики на K8200 са габаритни размери - 600 x 450 x 600mm, тегло - 8.7 kg, максимални размери за изграждане до 200 x 200 x 200 mm, дебелина на слоя - 0.25 mm, min. дебелина на стената - 0.5 mm, цена на 1 kg материал – 80 лв., материал – PLA или ABS, скорост на изграждане – 150 – 300 mm/sec.

Сглобяване на Velleman K8200

Принтерът бе получен в разглобен вид (фигура 3). Ръководството за сглобяване от 600 страници публикувано в интернет показва, че има три основни етапа за сглобяване: хардуер-механика, хардуер-електроника и софтуер. За всеки етап се изискват различен набор от инструменти и уреди, познания в съответната област и умения за работа в екип. Сглобяването изисква сръчност, боравене с миниатюрни детайли и умения за запояване. То трябва да се направи от двама души и отнема около 25 човекочаса. В ръководството за монтаж бяха забелязани някои грешки и неточности изискващи съобразяване.



а)



б)

Фиг. 3. Velleman K8200. а) - при доставка, б) - след сглобяване

В първия етап, хардуер-механика се изгражда основната конструкция от алуминиеви профили и резбови съединения и задвижването по трите направления x, y и z. Инженерното решение за постигане на плавно движение и добра точност на принтера е осъществено чрез използване на направляващи с кръгло напречно сечение и линейни сачмени лагери. Предвидена е възможност към съществуващата конструкция, да се постави второ подаващо устройство на полимерна нишка, което позволява изграждане на тяло от два различни материала.

Вторият етап хардуер-електроника е свързан със сглобяването, присъединяването и запояването на компоненти като: стъпкови електромотори, крайни изключватели, работна подгрявана платформа, екструдер с нагревател, термодвойки, окабеляване и управляваща платка. Това е най-трудоемкият етап

изискващ двама човека, от които единият с опит в прецизното запояването на електрически компоненти.

Третия етап по сглобяването е инсталирането на софтуера и свързването на принтера към управляващия компютър. Обменът на данни между принтера и компютъра става чрез протокол по серийния порт. Осигуреният кабел за целта е тип USB, което налага инсталирането на допълнителен драйвер, които да емулира серийен порт през USB порт. Целта на това на пръв поглед неудобство е, да се даде възможност за работа чрез лаптоп, таблет или смартфон. Една от най-добрите характеристики на този продукт е свободният софтуер за управление на принтера, даващ възможност за достъп до почти всички технологични параметри. Това дава възможност за решаване на редица изследователски задачи чрез избор на подходящи параметри за изграждане на различни видове детайли. Общият вид е показан на фигура 3б.

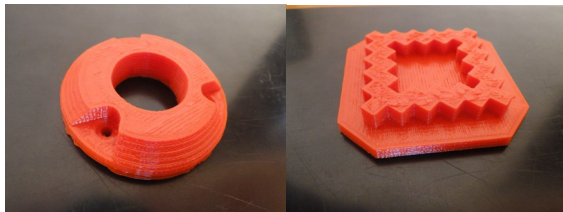
Материали за изграждане на обектите

PLA (Polylactic acid) е полимлечна киселина - термопластичен полимер с химична формула $(C_3H_4O_2)_n$. Получаването на този полимер става от царевично или картофено нишесте, захарно цвекло и други суровини, които имат високо съдържание на скорбяла. Тази пластмаса се разлага за около 12 дни при подходящо третиране. Поради относително ниската температура на топене и ниско съдържание на пепел след изгаряне, PLA може да бъде използван като материал за стопяеми леярски модели. Работните температури на принтера за изграждане на модел от PLA са 190 °C на екструдера и 50 °C на работната платформа.

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) или акрилонитрилбутадienstирол е термопластичен полимер с химична формула $(C_8H_8-C_4H_6-C_3H_3N)_n$. Този полимер има високи механически характеристики и се използва за изработване на детайли с висока якост. Температурите за принтиране са 250 °C на екструдера и 80 °C на работната платформа. Поддържането на тези температури в открития работен обем на Velleman K8200, прави ABS по труден за работа. При изграждането на големи модели се забелязва т.н. кърлинг или деформиране и надигане на периферните части детайла.

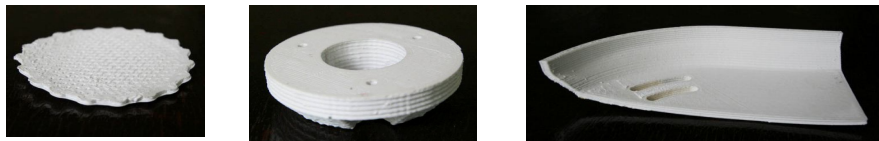
Резултати от работата на принтера при изграждане на детайли

Резултатите с PLA показаха, че този материал е лесен и безпроблемен за употреба. Прилепването към платформата беше добро, а след приключване на изграждането, детайлите се отделяха лесно. Наблюдават се три различни по графина повърхности. Най – долната, която е в непосредствен контакт с работната платформа, е с висока резолюция и гладкост, копираща тази на работната плоча. Страничните и горните повърхнини на детайла зависят от параметрите за изграждане, пространственото ориентиране, близостта на дюзата на екструдера до платформата, както и от самата форма на модела. Първите опити бяха направени с параметрите по подразбиране, като оптималните им стойности предстои да бъдат определени в бъдещо изследване. Детайли от PLA са показани на фигура 4.



Фиг. 4. Детайли изградени от PLA. Ляво - функционален детайл „държач на закачалка“, дясно - пробно тяло „пирамида“ за изследване на точности

При изграждане на детайли от полимера ABS се наблюдава кърлинг ефект (фигура 5), който при по-големите детайли доведе до недопустим брак.



Фиг. 5. Детайли изградени от ABS

При леенето по стопяеми модели е необходимо в етапа изгаряне на модела, възникващите напрежения във формата поради топлинното разширение на модела да са минимални. Ето защо често обемните модели се изграждат с кухини. Това дава възможност при разширението си, моделът да навлиза в празните пространства, с което да не създава напрежения във формата. По тази причина изборът на запълване е основен елемент при работа с PLA. В зависимост от желаната коравина, якост или приложение, управляващият софтуер предлага различни видове на запълване, както и изграждане на подпори на надвисналите участъци от модела. Предимство на големия избор на форми за запълване е и възможността за намаляване времето за изграждане и количеството на използвания материал. Някои от формите за запълване са показани на фигура 6.



Фиг. 6. Различни видове запълване на вътрешността на обемно тяло

Изводи и бъдещи задачи

RepRap уредът Velleman K8200 може да намери приложение в учебната работа в областта на лаярството, конструирането, материалознанието и др., както и в редица интердисциплинарни области. Подходящ е за развиване у студентите на качества за работа в екип и т.н. soft skills.

Чрез разглеждания проект могат да се извършват изследователски задачи в областта на материалите, оптимизация на технологични параметри, изследване на точности и за реверсивно инженерство в съчетание с 3D сканиране.

Проектът може да намери приложение за изпълнение на производствени поръчки в малки серии включително в областта на пластичните изкуствата.

Непосредствените бъдещи изследвания са определяне на точността и грапавостта на моделите и получаваните отливки, постигане на по-ниска грапавост, изследвания в областта на цикъла на изгаряне за леене по стопяеми модели и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_Project (посетен 06/2014)
- [2]. http://reprap.org/wiki/Build_A_RepRap (посетен 06/2014)
- [3]. http://reprap.org/wiki/Fused_filament_fabrication (посетен 06/2014)
- [4]. <http://reprap.org/wiki/RepRap> (посетен 06/2014)

- [5]. <http://softwaretopreviews.blogspot.com/2014/02/velleman-k8200-3d-printer-diy-kit.html> (посетен 06/2014)
- [6]. http://www.additive3d.com/comp_lks.htm (посетен 06/2014)
- [7]. <http://www.k8200.eu/locale/> (посетен 06/2014)
- [8]. <http://www.maplin.co.uk/p/velleman-k8200-3d-printer-kit-n82qg> (посетен 06/2014)
- [9]. <http://www.shapeking.com/3d-printer/> (посетен 06/2014)
- [10]. <https://reprappro.com/product-category/machine-kits/> (посетен 06/2014)
- [11]. KINDA KHALAF, SHADI BALAWI, GEORGE WESLEY HITT, AHMAD RADAIDEH. Engineering Design EDUCATION: When, What, And HOW, Advances in Engineering Education. **W**inter 2013, Volume 4, issue 1.
- [12]. Masood, S. H, Soo A. 2002. A role based expert system for RP system selection. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, pp. 267 - 274.
- [13]. REPRAP MAGAZINE, issue 1, February 2013, www.reprapmagazine.com (посетен 06/2014)

За контакти:

Ас. д-р Екатерина Минев; е-mail: eminev@uni-ruse.bg , РУ „Ангел Кънчев”, катедра MTM, гр. Русе

Компьютерное моделирование качания с полным вращением (kiiking)

Автор: Наталия Савицкая

Научные руководители: доц. д-р Велина Боздуганова, доц. д-р Венко Витлиев

Computer simulations of pumping a swing with full rotation (kiiking). This paper presents a mathematical model of a mechanical system which can simulate the pumping of a swing with full rotation. The model consists of a physical pendulum (the swing) and a moving lump mass (the human body). The pendulum is a homogeneous rod rotating about the axis of a fixed pin-joint resisting with friction moment, proportional to the angular velocity. Aerodynamic drag force acting on the person is quadratic function of the velocity. The human body mass center moves along the axis of the rod with a given periodic law as a function of the pendulum state vector. A variable of the law has a value which is chosen by a numerical experiment to determine the number of bilateral swings in a real kiiking. The dynamic behavior of the considered pendulum with the moving lump mass is investigated by computer simulations in MATLAB environment.

Key words: kiiking, physical pendulum with the moving lump mass, parametric vibrations, swing dynamics.

„Каким образом движения тел следуют воле и откуда инстинкт у животных?“

Исаак Ньютон, Оптика, (1686).

ВВЕДЕНИЕ

Качание – это стародавняя традиция Эстонии, глубоко укорененная в народных обычаях как ритуал призыва плодородия земли и помощь в борьбе с силами зла (зима, холод, голод, смерть) [15]. Качели и качание в этой стране и у других северных народов отличается возможностью полного вращения (фиг. 1). Состязательное качание с полным поворотом экстремально и, независимо от предпринимаемых предварительных мер безопасности, рискованное. Поэтому „качание по-эстонски“ – признак смелости, силы и ловкости молодых людей и, бесспорно, является поводом для уважения.



Фиг. 1. Вращающиеся качели (kiik)



Фиг. 2. Kiiking-качание

Характерной особенностью качания с большими амплитудами, переходящее во вращение, является то, что достигается положение „ноги над головой“ (фиг. 2). Этот экстремальный стиль лежит в основе современного вида спорта kiiking, введенного Ado Kosk'ом в 1996 году в Эстонии [10]. Он создал прототип современных без-

опасных телескопических стальных качелей с переменной длиной плеча от 3 до 8 метров. Удлинение качелей затрудняет полное вращение, а это является основным требованием для успешной попытки в этом виде спорта. Составлятельный регламент предусматривает всего 5 возможных попыток, каждая с продолжительностью до 5 минут. Мировой рекорд Гиннеса для мужчин составляет 7.02 м и принадлежит Andrus Aasamäe, а для женщин - Kätlin Kink – 5.94 м.

Для исследования явления *kiiking'a* в данной работе используется механическая система, составленная из физического маятника – качели и подвижной точечной массы, совпадающей с центром масс качающегося человека, который движется предписанным образом относительно маятника.

Исследования осуществлены при помощи компьютерного моделирования – технология научных исследований, объединяющая математическое моделирование и числовой эксперимент.

ФЕНОМЕН „КАЧАНИЕ С САМОРАСКАЧКОЙ“

Феномен „качание с самораскачкой“ недостаточно изучен. Его нельзя моделировать классическими принципами и методами механики. Мускульные силы как источник внутренней энергии системы „человек-качели“ являются результатом сложных биохимических процессов и предварительно неизвестны. Они косвенно влияют на изменение внешних сил, меняя конфигурацию системы и могут порождать резонансные параметрические колебания [8,12]. Составленные методами механики дифференциальные уравнения, описывающие динамическое состояние маятника-качели, являются незамкнутой системой. Это отражает факт, что реальная система содержит человека и управляется его целенаправленным воздействием.

Модель „маятник переменной длины“ имеет основополагающее значение при формулировании и решения неклассических задач для циклических процессов. Она является основной модельной задачей в некоторых новых разделах механики: программноуправляемые механические системы; механика целенаправленного движения; активная механика; механика резонансного взаимодействия; механика закрытых механических систем; механика инерциодов.

Управление для достижения цели „качание с предельно большими амплитудами“ связано с принуждением, которое достигается при моделировании с применением сил (как уже упоминалось – предварительно неизвестных, так как они внутреннее, а не порождаются внешним источником) или наложения связей (фактические или условные ограничения на изменение состояния системы). Известно [6], что эти два подхода на управляемое движение формально эквивалентны, но предоставляют различные возможности для моделирования.

Традиционное качание с самораскачкой исследовано в разных аспектах преимущественно для нетипичного, но удобного из-за своей модельной простоты, случае резонансных колебаний одно- или двухмассового маятника переменной длины с модулированной частотой 2:1 (например [7-9,12-14,16] и цитированной в [14] литературе). В [3,4] исследован типичный стиль самораскачки при качании выпрямленного человека, центр масс которого совершает одновременно продольное и поперечное периодическое движение при частотных соотношениях 2:1:1 относительно маятника-качели. Полученные результаты при помощи усовершенствованной таким образом неавтономной математической модели показывают более интенсивную самораскачку и повышенную динамическую перегрузку, что может быть опасным для детей.

Экстремальное качание с полным вращением при состязательных условиях *kiiking'a* существенно различается от традиционного качания. Для достижения

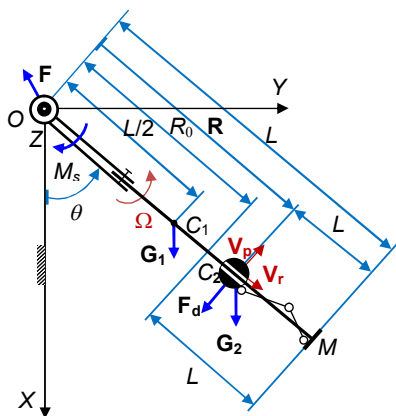
рекордного индивидуального результата требуются предельные физические и психические усилия, вызванные высокой динамической нагрузкой. Быстро наступающая усталость сопровождается резким увеличением адреналина и кровяного давления, пространственной дезориентацией, несогласованностью движений и повышенной тошнотой из-за принимаемых позиций „головой вниз“. Указанные специфические особенности, однако, не могут быть включены непосредственно в математическую модель рассматриваемого явления.

Покадровый анализ успешных попыток kiiking'a из [10] показывает, что самораскачка идет плавно, а качки совершаются с монотонно нарастающей амплитудой и размахом до полного оборота. Для биомеханической kiiking-системы это достижимо в том случае, когда согласуются отдельные движения и благодаря осуществляемой человеком обратной информационной связи, нужной для достижения намеченной цели – оборот. В этом смысле человек должен реализовать характерную для теории оптимального управления обратную связь [5], используя информацию о положении и угловой скорости маятника-качелей и согласуя свои движения с их изменением.

Наша цель здесь составить механико-математическую модель с минимальной по сложности структурой, правдоподобно симулирующую в качественном аспекте основные динамические характеристики маятника-качелей при kiiking'e, а активное человеческое присутствие в системе мы можем свести до заданного движения его центра масс.

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассматриваем механическую систему, состоящую из однородного стержня OM с массой m_1 , регулируемой длиной L и подвижной точечной массы C_2 с массой m_2 (фиг. 3). Стержень вращается вокруг неподвижного цилиндрического шарнира O , а точка C_2 , которая моделирует центр масс человека, перемещается в продольном направлении относительно стержня.



Фиг. 3. Механическая модель

Положение системы относительно абсолютной системы координат $OXYZ$ определяется двумя обобщенными координатами: θ, R .

Принимаем, что управляемое движение центра масс человека C_2 при kiiking-качании осуществляется по периодическому закону вида:

$$R = R_0 - H \sin(P\Omega) \sin(\theta), \quad (1)$$

где θ и Ω являются соответственно угловой координатой и угловой скоростью качелей, а R_0 , H и P – положительные постоянные величины.

Управляющая функция (1), которая описывает продольное движение точки C_2 как функции фазового состояния (θ, Ω) , использована в [2], но только для подразумеваемого частного случая $P = 1$ s. Наличие варьируемого параметра P для преобразования аргумента тригонометрической функции в безразмерном виде раскрывает возможность обосновать его выбор из соображений большей правдоподобности использованной механико-математической модели.

На рассматриваемую механическую систему действуют следующие внешние силы: силы тяжести $\mathbf{G}_1 = m_1 \mathbf{g}$, $\mathbf{G}_2 = m_2 \mathbf{g}$; силы реакций $(\mathbf{F}, \mathbf{M}_s)$ неидеального цилиндрического шарнира, редуцированные для точки O ; существенная компонента $\mathbf{F}_D$ аэродинамической силы сопротивления при переносном движении точки C_2 (фиг. 3).

Сопротивительный момент в шарнире моделируется линейной зависимостью $\mathbf{M}_s = -K_1 \Omega$, где K_1 – коэффициент сопротивления.

Принято, что аэродинамическая сила сопротивления $\mathbf{F}_D$ является квадратичной функцией переносной скорости, т.е. $\mathbf{F}_D = -K_2 V_p \mathbf{V}_p$, где K_2 – коэффициент аэродинамического сопротивления, $V_p = R\Omega$ – алгебраическая величина переносной скорости точки C_2 .

Модуль абсолютной скорости точки C_2 определяется зависимостью

$$V_2 = [(R\Omega)^2 + (dR/dT)^2]^{1/2}, \quad (2)$$

где: $V_r = dR/dT$ – релятивная скорость C_2 ; T – время.

Механическая энергия E системы, составленной из маятника OM с моментом инерции $J_z = m_1 L^2/3$ относительно оси OZ и подвижной точечной массы C_2 :

$$E = (J_z \Omega^2 + m_2 V_2^2)/2 + m_1 g(L/2)(1 - \cos \theta) + m_2 g[(R \cos \theta)_{max} - R \cos \theta]. \quad (3)$$

Степень перегрузки человека при его самораскачки можно оценить при помощи отношения $a = b/g$, где

$$b = [(d^2 R/dT^2 - R\Omega^2)^2 + (R d\Omega/dT + 2\Omega dR/dT)^2]^{1/2} \quad (4)$$

величина абсолютного ускорения точки C_2 , а g – гравитационное ускорение.

Для описания динамического состояния механической системы будем использовать проекцию на ось OZ теоремы изменения кинетического момента [1]:

$$dK_z/dT = M_z, \quad (5)$$

где

$$K_z = J_z \Omega + \text{мом}_z(m_2 \mathbf{V}_2),$$

$$(6)$$

кинетический момент рассматриваемой системы относительно неподвижной оси OZ,

$$M_z = - (L/2)G_1 \sin \theta - G_2 R \sin \theta - K_1 \Omega - K_2 R^3 \Omega^2 \text{sign}(\Omega),$$

$$(7)$$

главный момент внешних сил относительно той же оси.

После замещения (2), (6), (7) в (5) и преобразования получаем дифференциальное уравнение:

$$(d\Omega/dT)(J_z + m_2 R^2) + 2m_2 \Omega R dR/dT =$$

$$= - (L/2)G_1 \sin \theta - G_2 R \sin \theta - K_1 \Omega - K_2 R^3 \Omega^2 \text{sign}(\Omega).$$

$$(8)$$

Вводим следующие безразмерные величины и обозначения:

$$r = R/R_0; \quad l_0 = L/R_0; \quad l_c = (L - R)/R_0; \quad h = H/R_0; \quad x = X/R_0; \quad y = Y/R_0;$$

$$p = P\tau; \quad \tau = (g/R_0)^{1/2}; \quad t = T\tau; \quad \omega = \Omega/\tau; \quad \varepsilon = (d\Omega/dT)/\tau^2;$$

$$r_1 \equiv dr/dt = (dR/dT)/(R_0 g)^{1/2}; \quad r_2 \equiv d^2 r/dt^2 = (d^2 R/dT^2)/g;$$

$$v_1 = V_1/(R_0 g)^{1/2}; \quad v_2 = V_2/(R_0 g)^{1/2}; \quad a = b/g;$$

$$(9)$$

$$m = m_1/m_2; \quad j = ml_0^2/3; \quad \lambda = ml_0/2; \quad m_s = M_s/(m_2 g R_0);$$

$$k_1 = K_1/[m_2 (R_0^3 g)^{1/2}]; \quad k_2 = K_2 R_0/m_2; \quad e = E/(m_2 g R_0).$$

Тогда управляющая функция (1) примет безразмерный вид

$$r = 1 - h \sin(p\omega) \sin(\theta).$$

$$(10)$$

При замещении (9), (10) в дифференциальном уравнении (8), оно, вместе с начальными условиями, записывается в канонической форме:

$$d\theta/dt = \omega, \quad \theta(0) = \theta_0,$$

$$d\omega/dt = [2hr\omega^2 Sc - (\lambda + r)St - k_1 \omega - k_2 r^3 \omega^2 \text{sign}(\omega)] / (j + r^2 - 2hpr\omega Cs),$$

$$(11)$$

$$\omega(0) = \omega_0.$$

Выражения (3) и (4) можно записать в виде:

$$e = [(j + r^2)\omega^2 + r_1^2]/2 + \lambda(1 - Ct) + \max_t \{rCt\} - rCt,$$

$$(12)$$

$$a = [(r_2 - r\omega^2)^2 + (r\varepsilon + 2\omega r_1)^2]^{1/2}.$$

$$(13)$$

В зависимостях (11)-(13) использованы следующие обозначения:

$$Ss \equiv \sin(p\omega) \sin(\theta); \quad Cc \equiv \cos(p\omega) \cos(\theta);$$

$$Sc \equiv \sin(p\omega) \cos(\theta); \quad Cs \equiv \cos(p\omega) \sin(\theta);$$

$$St \equiv \sin(\theta); \quad Ct \equiv \cos(\theta); \quad r = 1 - hSs;$$

$$r_1 = -h(p\varepsilon Cs + \omega Sc);$$

$$r_2 = -h[p(d\varepsilon/dt)Cs + (2p\omega Cc + Sc)\varepsilon - (p^2\varepsilon^2 + \omega^2)Ss];$$

$$\varepsilon = q_1/q_2; \quad d\varepsilon/dt = (q_{11}q_2 - q_1q_{21})/q_2^2;$$

$$q_1 = 2hr\omega^2 Sc - (\lambda + r)St - k_1\omega - k_2r^3\omega^2 \text{sign}(\omega); \quad q_2 = j + r^2 - 2hpr\omega Cs;$$

$$q_{11} = 2h\omega[(2r\varepsilon + r_1\omega)Sc + r\omega(p\varepsilon Cc - \omega Ss)] - (\lambda + r)\omega Ct - r_1St - k_1\varepsilon -$$

$$- k_2r^2\omega(3r_1\omega + 2r\varepsilon)\text{sign}(\omega);$$

$$q_{21} = 2[r r_1 - hp(r_1\omega + r\varepsilon)Cs + hpr\omega(p\varepsilon Ss - \omega Cc)].$$

Отношение

$$\eta = |\omega(t)|/\omega_s(t), \quad (14)$$

где $\omega_s(t) = \{[\lambda + r(t)]/(j + r^2(t) - 2hpr(t)\omega(t)Cs(t))\}^{1/2}$, определяет степень различия безразмерных текущей угловой скорости $\omega(t)$ и собственной частоты $\omega_s(t)$ kiiking-системы.

Математическая модель (11) содержит неизвестный регулирующий параметр p . Его численное значение целесообразно выбрать из соображений повышения степени правдоподобности модели при оценке близости смоделированных и установленных из реального kiiking'a показателей.

При заданных начальных значениях θ_0 , ω_0 и параметре p , решение модели (11) - (14) численно симулирует изменение состояния $(\theta(t), \omega(t))$ kiiking-системы, релятивного $(r(\theta, \omega) - 1)$ движения центра масс C_2 , показателя $\eta(t)$ и динамических характеристик $\varepsilon(\theta, \omega)$, $e(\theta, \omega)$, $a(\theta, \omega)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Безразмерные параметры l_0 , h , k_1 , k_2 , m , θ_0 , ω_0 математической модели (11) постоянны, а p – варьируемый. В численном эксперименте выбраны следующие значения соответствующих размерных параметров: $L = 5.54$ m; $H = 0.4$ m; $L_C = 1.1$ m; $K_1 = 0.1$ kgm²/s; $K_2 = 0.4$ kg/m; $m_1 = 25$ kg; $m_2 = 110$ kg; $\theta_0 = -60^\circ$; $\Omega_0 = 0$ s⁻¹. Часть из них – приблизительные данные для успешно осуществленного kiiking'a на спортивных качелях 33-летним немецким учителем физкультуры Bastian Kunz на состязаниях Saaremaa Open Kiiking в 2012-ом году [10].

Для численного интегрирования дифференциальных уравнений (11) использована MATLAB-программа ode113 при относительной точности 10^{-8} и абсолютной точности 10^{-10} .

Для значения регулирующего параметра $p = 0.38$ (размерное значение $P = 0.256$ s) результат численного симулирования показывает, что для $T = 67$ s осуществляется поворот на угол $(2\pi + \theta_0)$ в направлении, обратном вращению часовой стрелки и число циклов самораскачки равняется 13. Максимальное продольное отклонение центра масс $C_2 - (\delta R_1)_{\max} = 0.235$ m. Максимальная степень перегрузки $a_{\max} = 3.97$ возникает в фазе переворота.

На фиг. 4 изображены в безразмерном виде основные кинематические и динамические характеристики рассматриваемого kiiking-качания.

На фиг. 4 (а) показаны траектории точки C_2 и конечной точки M маятника-качелей, а на фиг. (b) и фиг. (c) они представлены в конфигурационном пространстве, расширенном осью безразмерного времени t .

Фиг. (d) иллюстрирует изменение функций продольного $l_c(t)$ (измеряемого от конца M маятника-качелей) движения точки C_2 .

Функция $(r(\theta, \omega) - 1)$ на фиг. (e) показывают плавное нарастание отклонения центра массы человека C_2 относительно маятника-качелей.

Из графика отношения $\eta = |\omega(t)| / \omega_s(t)$ устанавливаем, что экстремальные стойности η изменяются в интервале (1, 2) (фиг. (f)).

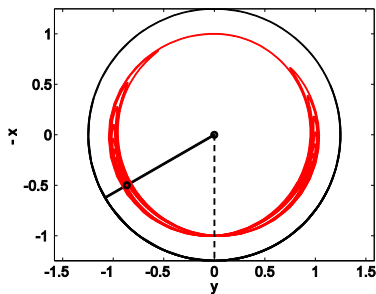
Из фазового портрета $\omega = \omega(\theta)$, показанного на фиг. (g), устанавливаем как нарастают при каждом цикле самораскачки угол отклонения маятника-качелей и его угловая скорость.

На фиг. (h) представлен график безразмерной механической энергии $e(\theta, \omega)$, которая нарастает интенсивно при каждом следующем цикле самораскачки.

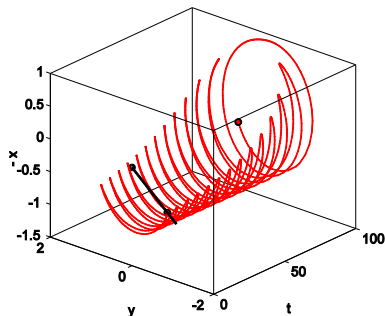
На фиг. (i) показан график безразмерного углового ускорения $\varepsilon(\theta, \omega)$ качели. Из него устанавливаем, что экстремные значения углового ускорения при каждом цикле появляются в окрестности конечных положений, когда θ не превышает 90° , и сравнительно подальше от них, когда отклонение больше.

Локальные экстремумы в график перегрузки $a(\theta, \omega)$ возникают в окрестности наименьшего положения маятника-качелей, где инерционные силы наибольшие (фиг. (j)). Глобальный максимум перегрузки возникает при полном перевороте.

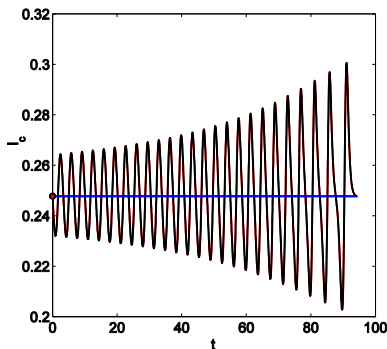
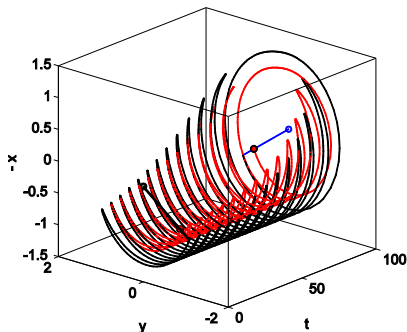
Предложенная в настоящей разработке модель – первый опыт для моделирования феномена kiiking. Мы надеемся, что он будет мотивировать и другие исследования этого удивительного явления.

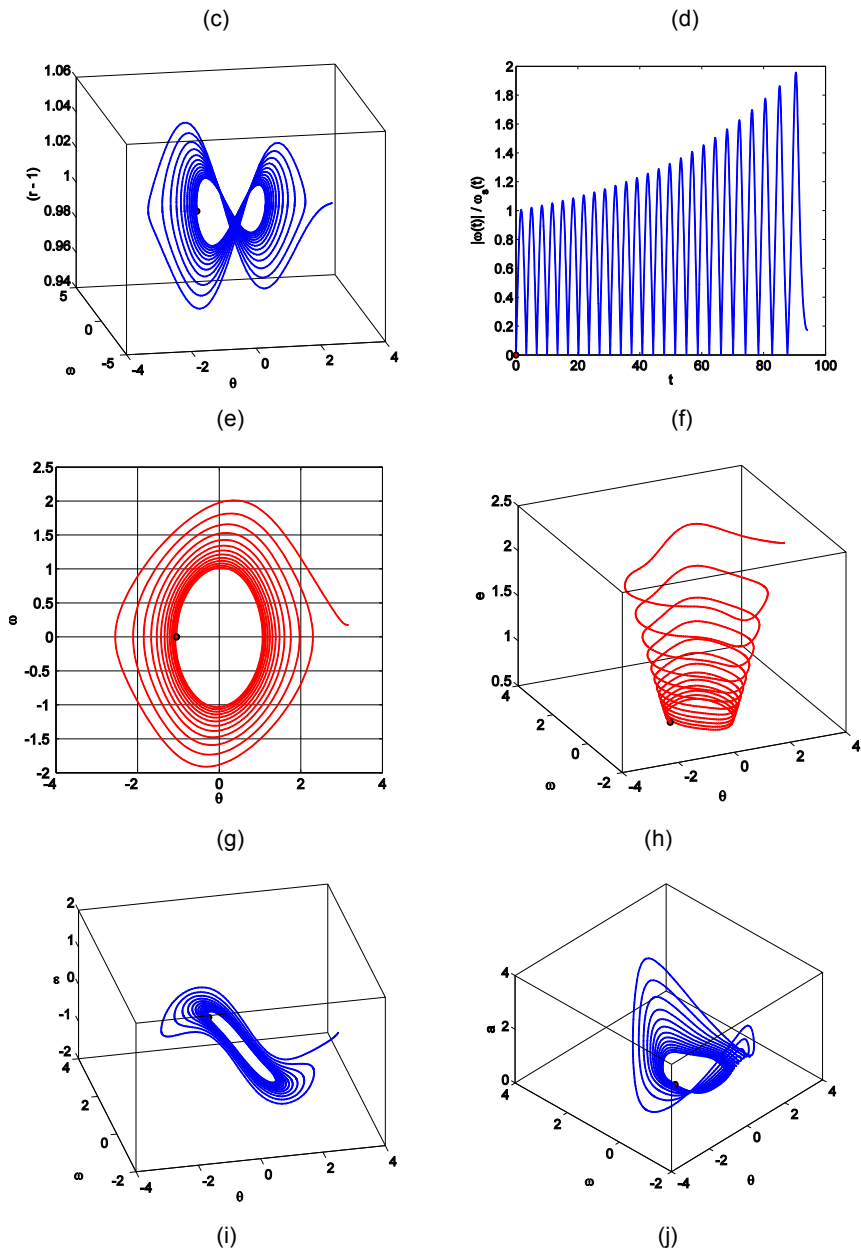


(a)



(b)





Фиг. 4. Резултати численного эксперимента в безразмерном виде:

- (a) траектории C_2 и M в конфигурационном пространстве;
- (b) траектория C_2 в расширенном конфигурационном пространстве (x, y, t) ;

- (с) траектории C_2 и M в расширенном конфигурационном пространстве;
- (d) графики функции $I_c(t) = I_0 - r(t)$ движения C_2 ;
- (е) график функции $(r(\theta, \omega) - 1)$;
- (f) график функции $\eta(t) = |\omega(t)| / \omega_s(t)$;
- (g) фазовый портрет $\omega(\theta)$;
- (h) график механической энергии $e(\theta, \omega)$;
- (i) график углового ускорения $\varepsilon(\theta, \omega)$;
- (j) график степени перегрузки $a(\theta, \omega)$.

Слова благодарности

Автор благодарит доц. В.С. Боздуганову и доц. В.Г. Витлимова (Русенский университет) за постановку задачи и постоянную помощь при моделировании феномена *kiiking*. Эта статья является составной частью учебно-исследовательской работы по дисциплине „Компьютерное моделирование“. Она частично финансирована по Теме № 2014–МТФ–01 фонда научных исследований Машинно-технологического факультета Русенского университета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ЛАйзерман, М.А. Классическая механика. Физматлит, Москва, 2005.
- [2]. Безгласный, С.П., Е.С. Батина, Е.Е. Пиякина. Параметрическое управление с ограничением движениями двухмассового маятника. Труды МАИ. Вып. 72, 2014.
- [3]. Боздуганова, В.С., В.Г. Витлимов. Динамика маятника переменной длины и сухого трения как симулятор качелей. Механика машин, Т. 17 (82), № 3, 45–48, 2009 (болг.).
- [4]. Боздуганова, В.С., В.Г. Витлимов. Колебания двухмассовой дискретной механической системы с двухпараметрическим возбуждением. Механика машин, Т. 20 (96), № 1, 83–87, 2012 (болг.).
- [5]. Брайсон, А., Ю-Ши Хо. Прикладная теория оптимального управления. Мир, Москва, 1972.
- [6]. Корнев, Г.В. Очерки механики целенаправленного движения. Наука, Москва, 1980.
- [7]. Лавровский, Э.К., А.М. Формальский. Оптимальное управление раскачиванием и торможением качелей. ПММ, Т. 57, вып. 3, 92–101, 1993.
- [8]. Сейранян, А.П., А.О. Беяков. Динамика качелей. Доклады РАН, Т. 421, № 1, 54–60, 2008.
- [9]. Чечурин, С.Л. Параметрический резонанс – боль и радость. СПбГПУ, СПб, 2014, <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3888.pdf/>.
- [10]. Kiiking. <http://www.kiiking.ee/>.
- [11]. Kiiking. Bastian Kunz. 5.54 m. <http://www.youtube.com/watch?v=K5tqPcRmJ7Q>.
- [12]. Magnus, K., Schwingungen. Stuttgart, Teubner, 1976.
- [13]. Stilling, D.S.D., W. Szyszkowski. Controlling angular oscillations through mass reconfiguration: a variable length pendulum case. International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 37, No. 1, 89–99, 2002.
- [14]. Strub, D.C. How do Childern Swing? Master Thesis. Department of Engineering Mathematics, University of Bristol, 2009, http://www.enm.bris.ac.uk/teaching/projects/2008_09/ds5484/.
- [15]. Vissel, A. Eestlaste kiigekultuur enne ja nüüd. (doi:10.7592/MT2002.21.kiik), <http://haldjas.folklore.ee/tagused/nr21/kiik.pdf>.
- [16]. Wirkus, S., R. Rand, A. Ruina. How to pump a swing. The College Mathematics Journal, Vol. 29, No. 4, 266–275, 1998.

Для контактов:

Наталия Савицкая, студентка III-го курса, специальность „Информатика“, Факультет „Информационные технологии“, Вирумааский колледж, Таллиннский технический университет, Эстония, e-mail: savitskaja.natalia@gmail.com .

Доц. д-р инж. Велина Боздуганова, кафедра “Техническая механика”, Русенский университет, тел.: 082-888 572, e-mail: velina@uni-ruse.bg .

Доц. д-р инж.-мат. Венко Витлиемов, кафедра “Техническая механика”, Русенский университет, тел.: 082-888 622, e-mail: venvit@uni-ruse.bg .

Многокритериална оптимизация на механични системи с използване на метода на Тагучи

Автор: Йордан Пенев

Научен ръководител: доц. д-р Стоян Стоянов

Абстракт: В статията е представен подход за многокритериална оптимизация на динамични обекти по метода на Тагучи. Използван е стохастичен метод за определяне на значимостта на управляващите фактори върху критериите на оптимизация. С помощта на компромисна схема, основана на концепцията за утопична точка в критериалното пространство, е определено еднозначно Pareto-оптимално решение. Разгледан е илюстративен пример.

Ключови думи: робастно проектиране, многокритериална оптимизация, планиране на експеримента, дисперсионен анализ, метод на Тагучи

Въведение

Подходът на оптимално робастно проектиране се основава на концепцията за постигане на качество още в етапа на проектирането. Той включва различни процедури за оптимизационен синтез на робастни обекти и процеси [6]. Съвременните изисквания за качество на обектите от инженерната практика (машини, механизми, конструкции) налагат нуждата от оптимално проектиране по отношение на няколко критерия, които да бъдат едновременно удовлетворени [10]. Същевременно, от важно значение за поведението на обекта е неговата робастност (малка параметрична чувствителност) към въздействието на смущения (шумове) от най-различен характер [9]. Методите за решаване на такива комплексни задачи изискват системен подход и наличието на оптимизационен модел. Оптимизационният модел включва: симулационен модел на механичната система, която задоволително описва поведението на обекта; съвкупностите от управляеми параметри (фактори), които се изменят в определени граници; неуправляеми (шумови) фактори, изменящи се в зададени интервали или по случаен начин; постоянни параметри и критерии, оценяващи качеството на проектното решение [9].

Класифицирането на съществуващите методи за решаване на многокритериални оптимизационни задачи (МОЗ) по някакви признаци е в голяма степен условно, защото обикновено се използват комбинации на различни средства и подходи. Най-общо могат да бъдат разграничени следните групи: оптимизация на йерархическа последователност на критериите за качество [1], методи за определяне на множеството на неподобряемите решения [10] и методи, основани на определен вид компромисна стратегия [2].

В последните години широко приложение като подход за робастна оптимизация получиха методът на Тагучи [6], [3]. Основните идеи и обобщение на неговото класическо използване са представени в [4]. Характерно за метода е използването на планиране на експеримента за минимизиране на отклонението на показателя на качеството спрямо желаната му стойност. В качеството на критерий за оптималност се използва специална мярка на това отклонение, наречена отношение сигнал-шум (SN- signal-to-noise ratio). Най-често използвани са три основни случая на критерия SN [12]:

$$(1) \quad SN_S = -10 \lg \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i^2 \right], \text{ от вида the smaller is the better;}$$

$$(2) \quad SN_L = -10 \lg \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{y_i^2} \right], \text{ от вида the larger is the better;}$$

$$(3) \quad SN_N = 10 \lg \left[\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right], \text{ от вида the target (nominal) is the better,}$$

където $\bar{y}$ и s^2 са съответно средната стойност и дисперсията на показателя на качеството (критерий) $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ от N опита при фиксирани нива на управляемите фактори и N' повторения за всеки опит с вариране на шумовите фактори. Оптималното робастно решение съответства на максимумите на критериите (1), (2), или (3).

Методите на Тагучи се използват от повечето изследователи, при проектирането на обекти, за които няма разработени теоретични модели на тяхното поведение [3], [11]. В тези случаи е трудно и понякога невъзможно варирането на шумовите фактори. За отчитане влиянието на шума в някаква степен се налага по-голяма повторимост и рандомизация на опитите. В [5] са решени инженерни задачи на основата на статични модели. Главният недостатък в обичайното приложение на методите се отнася до възможността за решаване само на задачи за едномерно търсене на екстремум без ограничения. Това го прави приложим в един начален етап на проектиране за намаляване на проектното пространство на параметрите и като начална стартова точка за други оптимизационни методи. За пръв път към този проблем се обръщат в [7], въвеждайки "глобяващи" функции в показателите на качеството и "настройващи" (tuning) параметри [8]. Методът е неприложим в задачите, в които това води до неадитивност и прекъснатост на показателя за качество [5].

В тази статия е предложен метод за решаване на МОЗ с ограничения, основан на метода на Тагучи. Значимостта на факторите върху частните критерии са определени за всеки един от тях с помощта на дисперсионен анализ (DA). Без да изчерпва докрай възможностите, методът води до получаването на задоволително Pareto-оптимално множество от решения. За скаларизиране на векторния критерий е използвана компромисна схема основана на коцепцията за утопична точка в критериалното пространство.

Симулационен модел на обекта

Нека с помощта на основните принципи на динамиката да е съставен математичният модел на една механична система, представен с векторната форма на системата диференциални уравнения на движението ѝ:

$$\dot{x}(t) = \varphi(x(t), u, w, \alpha, t), \quad x(0) = x_0,$$

$$(4) \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0, \quad t_0 = 0, \quad t \in [0, T],$$

$$u \in U \subset E^n, \quad u' \leq u \leq u''$$

$$w \in W \subset E^p, \quad w' \leq w \leq w''$$

където $x \in X \subset E^s$ е векторът на фазовото състояние; u е векторът на управляемите фактори на системата; $w \in W \subset E^p$ - векторът на шумовите фактори; α - векторът на приетите за постоянни параметри на системата; x_0 - векторът начално състояние; t - независима променлива време; T - интервалът от времето на движение; u' , u'' , w' и w'' - предписаните гранични стойности на факторите u и w ; $(\dot{}) = d/dt$. Счита се, че всички ограничения, които гарантират работоспособността на моделираната система са алгоритмично удовлетворени.

Шумовите фактори w представляват съвкупността от неуправляеми параметри на системата, които е трудно, невъзможно или много скъпо да бъдат контролирани. В качеството на шумови фактори могат да се използват и флуктуации на управляемите фактори в близка околност на нивата им на вариране. Векторът на външното смущение може да се съдържа в u , w или α .

Оптимизационна задача

Предполага се, че качеството на функциониране на механичната система, която задоволително моделира даден обект, се оценява с векторния критерий

$$(5) \quad z \equiv \Phi(u) = (\Phi_1(u), \Phi_2(u), \dots, \Phi_m(u))^T, \quad z \in Z \subset E^m.$$

Поставя се задачата компонентите $\Phi_k(u) = \Phi_k(x, u, w, \alpha)$, $k = 1, 2, \dots, m$ на функцията (5) да бъдат оптимизирани в някакъв смисъл. Едновременното достигане на екстремните стойности на всички частни критерии означава да бъде определен n -мерен вектор $u \in U$ за който, например, се достига $\max [\Phi_1(u), \Phi_2(u), \dots, \Phi_m(u)]$. Тъй като $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$ са различни функции, в общия случай не съществува вектор $u \in U$, за който да е изпълнено горното условие. Анализът на МОЗ не е тривиален и приемането на оптимално решение се интерпретира по различен начин [1].

Математически, МОЗ на една механична система, чието състояние се описва с

(4) може да бъде представена по следния начин:

$$u^0 = \text{opt}_u \{ \Phi(u) = (\Phi_1(u), \Phi_2(u), \dots, \Phi_m(u))^T;$$

$$\dot{x}(t) = \varphi(x(t), u, w, \alpha, t),$$

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = \dot{x}_0, t_0 = 0, t \in [0, T];$$

$$(6) \quad u \in U \subset E^n, u' \leq u \leq u'';$$

$$w \in W \subset E^p; w' \leq w \leq w''$$

$$g(x, u, w, \alpha) \leq 0, g \in E^r; G(u) \leq G^\# \},$$

където $g(\cdot)$ е векторът на наложените функционални ограничения, а $G^\#$ - ограничения върху достижимите стойности в критериалното пространство.

Обикновено, в конкретна задача, част от критериите трябва да се максимизират, а друга част - да се минимизират. Преминването от единия вид задача в другия се свежда до използване на зависимостта $\max \{ \Phi(u) \} = - \min \{ \Phi(u) \}$. Затова, операторът opt в (6) може да означава едновременно максимизиране на частните критерии $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$, в съответствие с принципа на Pareto [10]. Съгласно този принцип, точката $u^0 \in U$ се нарича Pareto-оптимална (ефективна), ако не съществува друга точка $u \in U$, за която са в сила неравенствата

$$\Phi_k(u) \geq \Phi_k(u^0) \text{ за всяко } k = 1, 2, \dots, m,$$

$$\Phi_k(u) > \Phi_k(u^0) \text{ поне за едно } k$$

Решението на МОЗ (6) представлява множеството от несравними помежду си неподобряеми (недоминирани) решения $u_0 \in U$ [1].

Крайната цел на една инженерна задача е изборът на единствено компромисно решение, което изисква допълнителна информация от лицето, вземащо решение (ЛВР). Тя се съдържа в избраната компромисна схема, по която векторния критерий се скаларизира. Задачата (6) се превръща в еднокритериална

$$(7) \quad u^0 = \text{opt}_u \{ S(u) \},$$

където $S(u)$ е обобщен критерий и представлява скаларна функция на частните критерии $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$. Една от компромисните стратегии [2] използва координатите на идеалната (утопична) точка $z_k^* = \max[\Phi_k(u)]$, за всяко $k = 1, 2, \dots, m$ [1] и минимизира "разстоянието" (квадрат на евклидовата норма в U) до частните критерии

$$(8) \quad S = \min \sum_{k=1}^m \left[\frac{\Phi_k - z_k^*}{z_k^* - z_k^{**}} \right]^2,$$

където $z_k^{**} = \min[\Phi_k(u)]$ за $k = 1, 2, \dots, m$ са компонентите на отрицателната утопична точка. При еднаква тежест на частните критерии, обобщеният критерий (8) равномерно ги доближава до утопичната точка.

Метод за решаване на задачата

Методът за решаване на формулираната МОЗ (6) съдържа следните етапи (Е):

Е1. Включва избор на нива вариране на управляемите и шумови фактори; избор на параметрична и шумова матрица на плана на експеримента; начина на комбиниране на двете матрици, в съответствие с обичайното приложение на тези процедури в метода на Тагучи [4], [6].

Е2. Предлага се имитационните експерименти да се извършат за всеки частен критерий поотделно като се определят:

- стойностите на частните критерии $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$, които образуват m на брой матрици от вида $(N \times N')$, където N и N' са съответно броят на редовете на параметричната и на шумовата матрица;

- средните стойности и дисперсиите на частните критерии $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$;

- отношенията SN_k от вида (1), (2) или (3), в които се трансформират частните критерии $\Phi_k(u)$, $k = 1, 2, \dots, m$;

- средните стойности на отношенията SN_k за еднаквите нива на управляемите фактори.

Е3. Наложения функционални ограничения g_j , $j = 1, 2, \dots, r$ се издигат в ранг на частни критерии [10]. Те и критериалните ограничения $\Phi_v^{\#}$, $v = 1, 2, \dots, q$, се преобразуват със същата lg-трансформация, както критериите $\Phi_k(u)$ в критериите SN_k , $k = 1, 2, \dots, m$.

Е4. Извършва се DA за определяне на значимостта на влияние на факторите u_i , $i = 1, 2, \dots, n$, поотделно за всеки от частните критерии SN_k , $k = 1, 2, \dots, m$. Значимостта се оценява с помощта на F- критерий или посредством процентния принос, при прието процентно ниво на значимост [5]. Този етап включва и анализ на резултатите от DA. За редуциране на началното проектно пространство на управляемите фактори се предлагат следните правила:

- ✓ Ако един фактор има значимо влияние върху всички критерии се избират всички тези нива, които оптимизират най-малко един критерий.

- ✓ Ако един фактор има значимо влияние само върху един критерий, се избира това ниво на фактора, което оптимизира само този критерий, независимо от значимостта му върху другите критерии.

- ✓ Ако един фактор има незначимо влияние върху всички критерии, се извършва дискретизиране в близка околност на всяко от нивата му в параметричната матрица. Определя се критерият, който най-силно се влияе от този фактор и се избира нивото, което го оптимизира.

Е5. В резултат на горния анализ се определя множеството на неподобряемите решения. За целта се прилага следната процедура:

- ✓ Елиминират се всички нива на факторите, за които някое от ограниченията е нарушено.

- ✓ Определят се нивата на факторите в редуцираното параметрично пространство, според правилата в Е4.

Тази процедура дава възможност за определяне на недоминираните (Pareto-оптимални) решения, без да гарантира елиминирането на всички доминирани решения в крайния избор. Частта на доминирани решения ще зависи от преценката на ЛВР при определянето на значимите нива на факторите.

Големият брой на елиминирани нива намалява възможността доминирано решение да попадне във финалното множество. В този случай ЛВР е склонно да елиминира някое недоминирано решение.

При малък брой на елиминирани нива ще се получи голямо финално проектно множество от решения, следователно съдържащо някаква част от

доминирани решения. Те могат да бъдат елиминирани при повторение на Е4 и Е5 при ревизири преценки на ЛВР.

Е6. С откритото множество от ефективни точки u^0 в пространството на критериите SN се изчисляват стойностите на критериите $\Phi_k(u^0)$, $k = 1, 2, \dots, m$. Когато те имат различни размерности и порядък, е удобно да се приведат в нормиран вид със зависимостта

$$(9) \quad \bar{\Phi}_k(u^0) = \left(\frac{\Phi_k(u^0) - \Phi_k^*}{\Phi_k^* - \Phi_k^{**}} \right), \quad k = 1, 2, \dots, m,$$

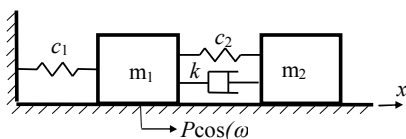
където Φ_k^* и Φ_k^{**} са съответно най-малките и най-големите стойности на недоминираните (същински Pareto-ви) точки. Тогава, за скаларизиране на векторния критерий, зависимостта (8) се преобразува във вида

$$(10) \quad S = \min \sum_{k=1}^m \left[\bar{\Phi}_k(u^0) \right]^2.$$

Предложеният метод е интерактивен и предлага възможност за активна намеса на ЛВР на всички етапи.

Пример

Приложението на изложената методика е показано на пример, взиман от [10]. Разгледана е динамичната система, показана на фиг. 1.



Фиг. 1.

m_1 и m_2 са означени масите на двете тела на системата, c_1 и c_2 са коефициентите на еластичност на пружините, а k е коефициента на съпротивление на съпротивления елемент. Върху масата m_1 действа хармонична смущаваща сила $P \cos(\omega t)$, където $P = 2000$ N, а $\omega = 30$ s⁻¹.

Системата съдържа пет управляеми фактори: $u_1 = c_1$, $u_2 = c_2$, $u_3 = m_1$, $u_4 = m_2$, $u_5 = k$, които се изменят в следните граници: $1.1 \cdot 10^6$ N/m $\leq u_1 \leq 2.0 \cdot 10^6$ N/m, $4.0 \cdot 10^4$ N/m $\leq u_2 \leq 5.0 \cdot 10^4$ N/m, 950 kg $\leq u_3 \leq 1050$ kg, 30 kg $\leq u_4 \leq 70$ kg, 80 Ns/m $\leq u_5 \leq 120$ Ns/m. Въведени са следните ограничения: $G^\# = u_3 + u_4 < 1100$ kg, 33 s⁻¹ $\leq g_1 = \sqrt{u_1 / u_3} \leq 42$ s⁻², 27 s⁻¹ $\leq g_2 = \sqrt{u_2 / u_4} \leq 32$ s⁻², съответно върху пълната маса и парциалните честоти.

Движението на системата се описва със системата диференциални уравнения

$$\begin{aligned} \dot{\chi}_1 &= \chi_2, \quad \chi_1(0) = 0, \\ \dot{\chi}_2 &= -\lambda_1(\chi_2 - \chi_3) - \lambda_2\chi_1 - \lambda_3(\chi_1 - \chi_3) + \xi \cos(\omega t), \\ \dot{\chi}_3 &= \chi_4, \quad \chi_3(0) = 0, \\ \dot{\chi}_4 &= -\lambda_4(\chi_4 - \chi_2) - \lambda_5(\chi_3 - \chi_1), \end{aligned}$$

където $\chi_1 \equiv x_1$, $\chi_3 \equiv x_2$, $\lambda_1 = u_5/u_3$, $\lambda_2 = u_1/u_3$, $\lambda_3 = u_2/u_3$, $\lambda_4 = u_5/u_4$, $\lambda_5 = u_2/u_4$, $\xi = P/u_4$.

Формулирана е следната оптимизационна задача: да бъдат минимизирани пълната маса на системата $m_1 + m_2$; максималната амплитуда на първата маса X_{1d} ; безразмерният критерий X_{1d}/X_{1s} , където X_{1s} е статичното преместване на масата m_1 под действието на силата P и безразмерния критерий ωp_1 , характеризиращ динамичните качества на системата.

Критериалното ограничение $G^\#$ и долните граници на функционалните ограничения g_1 и g_2 са твърди, а горните им граници могат да варират в малки

граници. Ограниченията g_1 и g_2 са издигнати в ранг на критерии (псевдокритерии), като по този начин се формулират шест критерия на оптималност. С Φ_1 и Φ_2 са означени двата псевдокритерия, а посочените по-горе четири - с Φ_3 до Φ_6 .

В [10] задачата е решена с помощта на PSI - метод (Parameter Space Investigation), основаващ се на метода на сондирането в многомерната област и използването на квазиравномерно разпределени пробни точки. За решаване на задачата са използвани 4096 пробни точки (опити). Полученото Pareto-оптимално множество в критериалното пространство съдържа осем неподобряеми решения. Стойностите на компонентите на ефективната точка са : $u_1^0 = 1.586 \cdot 10^6$, $u_2^0 = 4.840 \cdot 10^4$, $u_3^0 = 966.1$, $u_4^0 = 56.621$, $u_5^0 = 85.012$.

В настоящата работа тази задача е решена по метода на Тагучи, като оптимизационна задача с векторен критерий и робастност на полученото решение относно 1 %-ово вариране на стойностите управляеми фактори. В съответствие с етапите Е1 до Е6 в т. 4, за параметричната матрица е избран план на дробен факторен експеримент (ДФЕ) 4^{5-3} (L_{16} според класификацията на Тагучи [6]). За шумови фактори w_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ са приети 1 %-ови изменения на стойностите на управляемите фактори около нивата им в параметричната матрица. Шумоватата матрица е избрана като план на ДФЕ 3^{5-3} (L_9). В табл. 1 и табл. 2 са показани стойностите на нивата на факторите u и w .

Табл. 1. Нива на вариране на управляемите фактори

ниво	Управляеми фактори				
	u_1 ($\cdot 10^6$)	u_2 ($\cdot 10^4$)	u_3	u_4	u_5
1	1.1	4.00	950.0	30.0	80.0
2	1.4	4.33	983.3	43.3	93.3
3	1.7	4.67	1016.7	56.7	106.7
4	2.0	5.00	1050.0	70.0	120.0

Табл. 2. Нива на вариране на шумовите фактори

ниво	Шумови фактори				
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
1	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2	0	0	0	0	0
3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Стойностите на критериите SN_k , $k = 1, 2, \dots, 6$, определени за случая SN_5 от (1) са показани в табл. 3, а средните им стойности за еднаквите факторни нива - в табл. 4.

Табл. 3. Стойности на критериите SN

№ на опита	SN_1	SN_2	SN_3	SN_4	SN_5	SN_6
1	-30.637	-31.250	-59.825	34.259	-20.540	1.094
2	-31.535	-29.656	-60.228	44.916	-11.984	1.992
3	-32.233	-28.493	-60.614	47.239	-11.348	2.690
4	-32.799	-27.570	-60.984	49.194	-10.804	3.256
5	-30.487	-28.837	-60.340	40.815	-13.990	0.944
6	-31.684	-27.914	-60.172	45.012	-11.887	2.141
7	-32.093	-31.594	-60.669	47.217	-11.370	2.550
8	-32.939	-30.000	-60.506	49.019	-10.975	3.396
9	-30.343	-28.233	-60.722	39.704	-15.100	0.800
10	-31.250	-29.156	-60.880	44.551	-12.349	1.707
11	-32.527	-30.319	-59.942	47.246	-11.341	2.984
12	-33.084	-31.913	-60.115	49.817	-10.181	3.541
13	-30.202	-30.625	-60.775	27.175	-27.631	0.659
14	-31.390	-32.219	-60.396	42.012	-14.884	1.847

15	-32.378	-28.539	-60.451	47.579	-11008.	2.835
16	-33.233	-29.462	-60.057	50.337	- 9.661	3.690

Таблица 4. Средни стойности на отношенията SN

a) SN ₁	ниво1	ниво2	ниво3	ниво4
u ₁	-30.4	-31.5	-32.3	<u>-33.0</u>
u ₃	-32.0	-31.9	-31.7	-31.6

b) SN ₂	ниво1	ниво2	ниво3	ниво4
u ₂	-29.2	-29.6	-29.9	-30.2
u ₄	<u>-31.7</u>	-30.2	-29.0	<u>-28.1</u>

c) SN ₃	ниво 1	ниво2	ниво3	ниво4
u ₃	-60.0	-60.3	-60.6	-60.8
u ₄	-60.3	-60.4	-60.5	-60.6

d) SN ₄	ниво 1	ниво2	ниво3	ниво4
u ₁	35.5	44.1	47.3	49.6
u ₂	43.9	45.5	45.3	41.8
u ₃	44.2	45.8	44.5	42.0
u ₄	43.3	42.1	45.7	45.4
u ₅	43.8	45.5	42.3	44.8

e) SN ₅	ниво 1	ниво 2	ниво3	ниво4
u ₁	-19.3	-12.8	-11.3	-10.4
u ₂	-13.7	-12.1	-12.2	-15.8
u ₃	-13.4	-11.8	-13.1	-15.5
u ₄	-14.2	-15.5	-11.8	-12.2
u ₅	-13.7	-12.0	-15.3	-12.8

f) SN ₆	ниво 1	ниво2	ниво 3	ниво4
u ₁	0.874	1.922	2.765	3.471
u ₃	2.477	2.328	2.184	2.043

В таблиците на DA (табл. 5 а, b, c, d, e, f) са представени: сумата от квадратите на

Таблица 5. Дисперсионен анализ на влиянието на управляемите фактори върху отношенията SN

a) SN ₁	SS	DF	MS	%
u ₁	15.02	3	5.007	97.28
u ₃	0.42	3	2.719	2.72
e	0	9		
т	15.44	15		100

b) SN ₂	SS	DF	MS	%
u ₂	2.08	3	0.69	6.45
u ₄	30.24	3	10.08	93.55
e	0	9		
т	32.32	15		100

c) SN ₃	SS	DF	MS	%
u ₃	1.52	3	0.51	86.17
u ₄	0.24	3	0.08	13.83
e	0	9		
т	1.76	15		100

d) SN ₄	SS	DF	MS	%
u ₁	458.76	3	152.92	78.72
u ₂	35.82	3	11.94	6.15
u ₃	29.04	3	9.68	4.98
u ₄	35.73	3	11.92	6.13
u ₅	23.43	3	7.81	4.02
e	0	0		
т	582.77	15		100

e) SN ₅	SS	DF	MS	%
x ₁	195.59	3	65.20	61.20
x ₂	35.81	3	11.94	11.21
x ₃	29.05	3	9.68	9.09
x ₄	35.70	3	11.90	11.17
x ₅	23.43	3	7.81	7.33
e	0	0		

f) SN ₆	SS	DF	MS	%
x ₁	15.02	3	5.01	97.28
x ₃	0.42	3	0.14	2.72
e	0	9		
т	15.44	15		100

т	319.57	15		100
---	--------	----	--	-----

главните ефекти SS, степените на свобода DF, оценките на дисперсиите MS и процентния принос (%) на относителната значимост на факторите, определени за еднаквите нива на всеки фактор и за всеки критерий поотделно.

Долната гранична стойност на псевдокритерия SN_1 се трансформира с израз $-10 \lg(33^2) = -30.3703$. За останалите видоизменени ограничения се получава: $-32.4650 \leq SN_1 \leq -30.3703$; $-30.1030 \leq SN_2 \leq -28.6273$; $SN_3 \geq -60.8278$. Забелязва се, че факторите u_1 на ниво 4 и u_4 на ниво 1 нарушават ограниченията. Същото се отнася и за нивата 2 и 4 на фактора u_4 , първото от които нарушава горната граница, а второто – долната. За нарушаващо ограничението на SN_2 ще считаме ниво 4 на фактора u_4 . Посочените нива на тези фактори (подчертаните в табл. 4 а, б) се изключват от понататъшно разглеждане за всички критерии.

От таблиците на DA (табл. 5 с,d,e,f) се вижда, че всички фактори $u_1 \dots u_5$ имат значимо влияние върху критериите SN_k , $k = 3, 4, 5, 6$, приемайки 1%-ова граница за значимост. Освен това, влиянието на факторите u_3 за SN_3 , и u_1 за останалите критерии е доминиращо. Ниво 1 на фактора u_3 и нивата 3 на фактора u_1 , които максимизират средните стойности на съответния критерий SN в табл. 4 с,d,e,f се избират за редуцираното пространство на параметрите независимо от влиянието им върху другите критерии.

Нивата на факторите, които максимизират всеки от критериите $SN_3 \dots SN_6$ са означени с удебелен шрифт в табл. 4 с,d,e,g. По този начин проектното параметрично пространство е стеснено до следните граници на изменение или стойности на факторите: $u_1 = 1.7 \cdot 10^6$; $u_2 = 4.3 \cdot 10^4$; $950 \leq u_3 \leq 983.3$; $43.3 \leq u_4 \leq 56.6$; $u_5 = 93.3$.

На този етап ЛВР има възможност или да извърши следваща итерация за допълнително ограничаване на проектното пространство, или да определи неподобряемото множество. За целта е необходимо да се определят новите нива в определените по-горе стеснени интервали, както например за u_3 и u_4 , или в околността на нивата на u_1 , u_2 и u_5

Таблица 6. Нормирани стойности на критериите за множеството на неподобряемите решения

Опит	Φ_1	Φ_2	Φ_3	$\Phi_4 (. 10^{-3})$	Φ_5	Φ_6	S
1	0.656	0.798	0.693	0.000	0.654	0.338	2.822
2	0.548	0.491	0.184	0.333	0.136	0.446	1.207
3	0.442	0.228	0.190	0.667	0.173	0.551	2.501
4	0.338	0.000	0.197	1.000	0.211	0.656	4.261
5	0.433	0.289	0.228	0.438	0.152	0.560	1.897
6	0.771	0.058	0.146	0.312	0.096	0.225	0.607
7	0.226	0.886	0.913	0.687	0.942	0.769	10.971
8	0.555	0.555	0.117	0.562	0.125	0.438	1.545
9	0.215	0.116	0.265	0.771	0.191	0.781	4.032
10	0.113	0.350	0.241	0.896	0.197	0.884	4.917
11	0.885	0.619	0.058	0.104	0.032	0.112	0.094
12	0.776	0.934	0.736	0.229	0.789	0.220	3.897
13	0.000	0.682	0.380	0.792	0.312	1.000	6.167
14	0.329	1.000	1.000	0.458	1.000	0.666	9.759
15	0.662	0.174	0.113	0.542	0.991	0.332	1.163
16	1.000	0.410	0.000	0.208	0.000	0.000	0.043

Използвайки втората възможност, със същата параметрична матрица на плана на експеримента, са определени стойностите на частните критерии Φ_k , $k = 1, 2, \dots, 6$ за редуцираното проектно пространство на параметрите. Управляемите фактори са варирани в интервалите: $1.67 \cdot 10^6 \leq u_1 \leq 1.70 \cdot 10^6$; $4.2 \cdot 10^4 \leq u_2 \leq 4.5 \cdot 10^4$; $950 \leq u_3 \leq 983$; $43 \leq u_4 \leq 58$; $92 \leq u_5 \leq 95$. В табл. 6 са показани техните нормирани според (9) стойности.

Тези решения формират недоминираното множество в критериалното пространство. Всяка комбинация от стойности на факторите u_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ в отделните опити е Pareto-оптимално решение. В последната колона на табл. 6 са показани стойностите на скаларния критерий S . Компромисното решение е определено за минималната стойност на S в опит 16, за който ефективната точка u_0 има компоненти $u_1 = 1.70 \cdot 10^6$ N/m, $u_2 = 4.5 \cdot 10^4$ N/m, $u_3 = 950$ kg., $u_4 = 53$ kg., $u_5 = 93$ Ns/m. Полученото оптимално решение е робастно към малки вариации на някои от управляемите фактори. При такова условие неможе да бъде направена точна съпоставка на резултатите от решението в [10], но се вижда, че за два от факторите - u_3 и u_4 се получават по-малки стойности, а за останалите разликите не са големи.

Заклучение

В статията е представен подход за определяне на недоминираните решения при решаване на робастна МОЗ при наличие на ограничена неопределеност в математичния модел на обекта. Той е ориентиран към използване основните идеи и процедури на методите на Тагучи. Статистическият подход за анализ на влиянието на факторите дава възможност за определяне на областта на Pareto-оптималните решения и на едно крайно решение при избрана компромисна схема. В постановката на МОЗ са включени функционални и критериални ограничения. Приложението на метода е дискутирано с помощта на илюстративен пример върху динамична задача. Методът е интерактивен и дава възможност за активна намеса на ЛВР при вземане на решения за "филтриране" на началното пространство на параметрите, в зависимост от неговите предпочитания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Йорданова, И. Задачата за многокритериално линейно програмиране и някои методи за нейното изследване, Проблеми на техническата кибернетика и роботика, Издателство на БАН, 34, 1992, с. 29-37.
- [2]. Салуквадзе, М. Задачи векторной оптимизации в теории управления, Мецниереба, Тбилиси, 1975.
- [3]. Bryne, D., Taguchi, S. The Taguchi Approach to Parameter Design, Taguchi Methods. Application in Worold Industry, Springer -Verlag, 1989, pp. 57-76.
- [4]. Kacker, R. Off-Line Quality Control, Parameter Design anf the Taguchi Method. Journal of Quality Technology, Vol 17, No 4, 1985, pp. 176-178.
- [5]. Kunjur, A., Krisnamutry, A. Mult-Criteria based Robust Design Approach, <http://www.ecs.umass.edu>, 1996
- [6]. Logothetis, N., Wynn, H. Quality Through Design. Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [7]. Otto, K.N. and Antonson E.K., "Extensions to the Taguchi Method of Product Design", "Journal of Mechanical Design" Vol. 115, 1993a, pp. 5-13.
- [8]. Otto, K.N. and Antonson E.K., 1993, "Tuning Parameters in Engfineering Design", "Journal of Mechanical Design" Vol. 115, 1993b, pp. 14-19.
- [9]. Parkinson A., "Robust Mechanica. Design Using Engineering Models", Transactions of the ASME, Vol. 117, 1995, pp.48-54.
- [10]. Statnikov, R., Matusov, J., Multicriteria Optimization and Engineering , Chapman & Hall, 1995.
- [11]. Unal, R., Dean, E. B. Design for Cost and Quality: The Robust Design Approach, Journal of Parameters, Vol. 11, No 1, 1991, pp.

[12]. Vining, G., Myers, R. Combining Taguchi Method and Response Surface Philosophies: A Dual Response Approach , Journal of Quality Technology, Vol 22, No 1, 1990, pp 38-44

[13]. White, M. Gold usage reduction in plating of pin and socket contacts, Taguchi Methods. Application in World Industry, Springer -Verlag

За контакти:

Йордан Красимиров Пенев, спец КХГ, фак. № 112080

Доц. д-р Стоян Ганчев Стоянов, Русенски университет “Ангел Кънчев”, катедра Техническа механика, тел. 082-888 572, e-mail: sgstoyanov@uni-ruse.bg.

Разработване на стенд за калибриране на инструменти за измерване на силата на удара на хидравлични чукове

Автори: инж. Теодор Мичев

Научни ръководители: инж. Звезделин Османов,

гл. ас. д-р инж. Николай Станков, доц. д-р инж. Александър Иванов

Резюме: Разработен е стенд за калибриране на инструменти за определяне на силата на удара. Стенда се използва при изследване на хидравлични чукове. Конструкцията на стенда е разработена чрез CAD системата SolidWorks.

Ключови думи: Калибриране, стенд, хидравлични чукове, CAD система.

Abstract: Stand for tools calibration to determine the impact force has been developed. The stand is using for study of hydraulic hammers. The stand is designed by the CAD system SolidWorks.

Key words: Calibration, stand, hydraulic hammers, CAD system.

ВЪВЕДЕНИЕ

Хидравличните чукове са специализирани инструменти, които намират различно приложение, най-често в строителството. Използват се за разтрошаване на твърди материали, като бетон, асфалт, каменни блокове и други.

Хидравличните чукове биват ръчни и такива, които се установяват на багери, товарачи и други машини. Ръчните чукове е необходимо да бъдат свързани към хидравлична станция, осигуряваща захранването им с хидравлична течност със съответното налягане и дебит.

Едни от големите фирми производители на хидравлични чукове, това са Atlas Copco [1], Furukawa [2], Rammer [3], Montabert [4], Caterpillar [5], JCB [6], BobCat [7], Arrowhead [8] и други.



Фиг. 1. Ръчни хидравлични чукове – Atlas Copco [1]



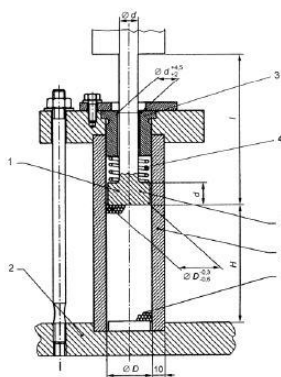
Фиг. 2. Хидравличен чук – BobCat [7]

ИЗЛОЖЕНИЕ

Особености при изработването

на хидравлични чукове

При разработване на нови модели хидравлични чукове или при проверка на такива в съществуващото производство, е необходимо да се прави измерване на основния им работен параметър – сила на удара. По този начин се прави оценка на силата и работната мощност на инструмента.



Фиг. 3. Товарна клетка:

1 – измервателен инструмент „шило“, 2 – плоча, монтирана върху бетонен блок, 3 – втулки, 4 – пружина, 5 – плоча, 6 – тръба, 7 – съчми

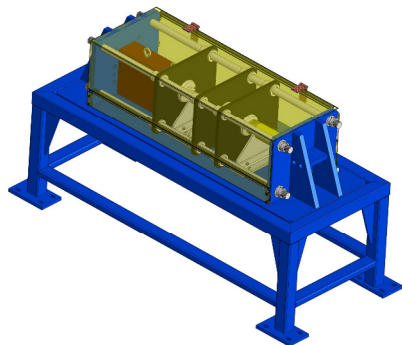


За целта е необходимо да се разработи специализиран стенд за калибриране на инструментите за измерване силата на удара, създадена от хидравличните чукове.

Измерване на силата на удара

Измерванията се извършват посредством работен инструмент "шило" и товарна клетка (Dynaload - ISO DIS 28927-10_20090629). Товарната клетка представлява стоманена тръба пълна със съчми от закалена стомана, която е монтирана върху неподвижна плоча (фиг. 3).

За извършване на измерването върху работната повърхност на измервателния инструмент (шило) се поставят тензодатчици. Посредством отчетените деформации се измерва силата на удара. Поради това, че инструмента е твърд стоманен прът и датчиците са монтирани повърхностно, и измерват надлъжната деформация на инструмента при удар, е необходимо инструмента да бъде калибриран.



Фиг. 4. Стенд за калибриране

Калибрирането се извършва посредством подаване на контролиран товар, като отчетените стойности се използват за определяне на точността на инструмента, и коефициента на корекция на измерените стойности.

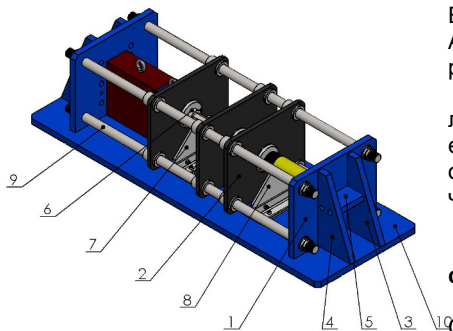
Обща характеристика на стенда

Стенда показан на фиг. 4, е разработен по задание на фирма "Строително оборудване" ЕООД, град Русе. Фирмата е част от групата на AtlasCorpo, лидер в производството на разнообразно строително оборудване.

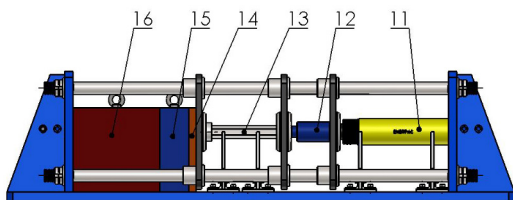
Стенда е разработен за нуждите на лабораторията на фирмата. Предназначението му е, чрез него да се калибрират инструменти за определяне на сила на удара на хидравлични чукове.

Устройство и принцип на работа на стенда за калибриране

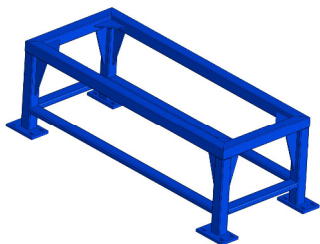
Конструкцията на стенда е разработена чрез CAD системата SolidWorks. Стенда е разделен на



Фиг. 5. Работна част на стенда



Фиг. 6. Работна част на стенда



Фиг. 7. Долна част на стенда

две основни части - горна част (работна) и долна част (установъчна).

Конструкцията на горната работна част (фиг. 5) на стенда е сглобена с болтове и шифтове, а долната част представлява заварена тръбна конструкция (фиг. 7). Към нея е закрепена основната плоча 10 на работната част.

За работната част на стенда са изработени три вида плочи - основна плоча 10, към която са закрепени странични плочи 1, а чрез шпилки 9 се закрепват и междинните плочи 2. За намаляване възникването на деформации са добавени ребра 3, 4 и 5, както и закалените плочи 6.

Работната част позволява калибриране на измервателния инструмент чрез точни и реални натоварвания. Подаването на товара върху първата междинна плоча се извършва посредством хидравличен цилиндър 11 (Енергас модел RC-2510) – фиг. 6. Към първата междинна плоча е закрепена товарна клетка 12 (SENSY, модел 3115-ISO по ISO 7500) с капацитет 200 kN. Тя предава товара върху втората междинна плоча, която от своя страна вече контактува с измервателния инструмент 13. Инструмента е подпрян от другата си страна с подпори 14, 15 и 16. Подпорите са с различна дебелина за различните дължини на инструментите. Цилиндърът и измервателния инструмент са позиционирани със стойки 7 и 8. За осигуряване на защита при извършване на калибрирането на инструментите, стенда се покрива с капаци.

На следващите фигури е показан изработения стенд и някои от основните му компоненти



Фиг. 8. Стенд за калибриране – общ вид на примерните модели на стенда

Някои от тримерните модели на детайлите са разработени с модула за листов материал Sheet Metal, по този начин се получава разгъвката им, необходима за разкроя на детайлите от листов материал. Всички стандартизирани детайли, като болтове, шайби, гайки, шпилки, са

Особености при моделирането



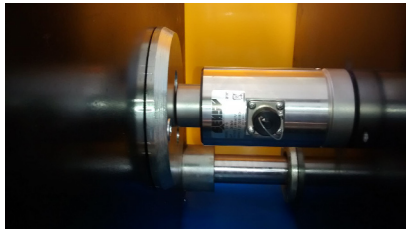
Фиг. 9. Работна част на стенда



Фиг. 10. Хидравличен цилиндър и помпа

За всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица, в прозореца Custom от меню File

Properties, са зададени и потребителските атрибути като наименование, означение, тип и вид на материала (марка на стоманата, листов, прътов или тръбен материал), вида обработка чрез която се получава детайла, номера на сглобената единица, към която принадлежи и др. (фиг. 12). Тази информация е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично на чертежите.



Фиг. 11. Товарна клетка

Summary Information

Summary Custom Configuration Specific

Delete BOM quantity: - none - Edit List

	Property Name	Type	Value / Text Expression	Evaluated Value
1	Description	Text	Основна плоча	Основна плоча
2	Weight	Text	"SW-Mass@Osnovna plocha.SLDPR"	248.97
3	Part No	Text	01.00.01	01.00.01
4	Material	Text	"SW-Material@Osnovna plocha.SLDPR"	1.0045 (S355JR)
5	Assortment	Text	-	-
6	RPMP	Text	-	-
7	RPMM	Text	-	-
8	RPMA	Text	-	-
9	Assembly No	Text	01.00.00	01.00.00
10	TYPE	Text	-	-
11	REV	Text	-	-
12	<Type a new property>			

OK Cancel Help

Фиг. 12. Потребителски атрибути, които се добавя за всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица

Награди

С разработения проект – „Разработване на стенд за калибриране на инструменти за измерване на силата на удара на хидравлични чукове“, беше спечелено **ВТОРО МЯСТО** в конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD – системи **“Проектирай с CAD... и с мен!”**, на Машинно-технологичния факултет на РУ „Ангел Кънчев“, проведен на 19.05.2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на направеното може да се обобщи:

1. Разработен е стенд за калибриране на инструменти за измерване на силата на удара на хидравлични чукове.
2. Стендът позволява калибриране на измервателния инструмент чрез точни и реални натоварвания.
3. Стенда може да се използва за измервания при разработване на нови изделия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. www.atlascopco.bg.
- [2]. www.frdusa.com.
- [3]. www.rammer.com.
- [4]. www.montabert.com.
- [5]. www.cat.com.
- [6]. www.jcb.com.
- [7]. www.bobcat.com.
- [8]. www.arrowheadrockdrill.co.uk.
- [9]. www.sensy.com.
- [10]. www.enerpac.com.

За контакти:

инж. Теодор Атанасов Мичев, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“,
e-mail: atanasov_21@abv.bg

инж. Звезделин Османов, ръководител отдел „Конструктивен и развитие“, „Строително оборудване“ ЕООД, гр. Русе, тел.: 082/810 580,
e-mail: zvezdelin.osmanov@bg.atlascopco.com

гл. ас. д-р инж. Николай Тодоров Станков, Катедра ТММРМ, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082/888 714,
e-mail: nstankov@uni-ruse.bg

доц. д-р инж. Александър Кирилов Иванов, Катедра ТММРМ, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082/888 714,
e-mail: akivanov@uni-ruse.bg

Разработване на специализирана машина „Обрухвач“

Автор: инж. Даниела Цонева

Научни ръководители: гл. ас. д-р инж. Николай Станков, доц. д-р инж. Александър Иванов

Резюме: Разработена е специализирана машина „Обрухвач“. Машината е предназначена за първична обработка на различни видове билки. Конструкцията на машината е разработената чрез CAD системата SolidWorks.

Ключови думи: Машина, обработка, билки, CAD система.

Abstract: Specialized machine “Obruhvac” has been developed. The machine is designed for primary treatment of various kinds of herbs. The machine is designed by the CAD system SolidWorks.

Key words: Machine, treatment, herbs, CAD system.

ВЪВЕДЕНИЕ

В България има голямо разнообразие на растителни видове. Те са над 3600 на брой, като 650 от тях се употребяват като лечебни растения, а ежегодно се събират около 300 вида (фиг. 1).

Благодарение на разнообразните климатични и почвени условия, българските билки съдържат висок процент биологично активни вещества. Те са богати на разнообразни химични съединения, като алкалоиди, гликозиди, сапонини, полизахариди, танини, флавоноиди, лигнани, кумарини, етерични масла, витамини, микроелементи и други [1].

По данни на „Асоциацията на билкарите и гъбарите“, България е на първо място в Европа по износ на билки [2]. Годишната печалба от експорт на лечебни растения е над 300 млн. евро годишно. За нуждите на нашата икономика се използват около 1000 тона билки годишно, а останалите количества се предназначени за износ. Данни на същата асоциация показват, че от лечебните растения, най-предпочитани са листата и корените на копривата (фиг. 2).

Билките се използват във фармацията, за производство на хранителни добавки, козметиката и традиционната медицина.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Особености при обработката на билки

За постигането на добри резултати при обработването на различните видове билки, по отношение на изискванията свързани с качество на суровината, са необходими



Фиг. 1. Различни видове билки [1]



Фиг. 2. Коприва [2]

множество обработки, които се извършват на различни машини. В зависимост от вида на билката се спазва и съответната технология на обработване, за да се запазят полезните вещества, които съдържат. Необходимо е също да се постигне висока производителност и качество при обработването на големи количества суровина.

За целта е разработена специализирана машина „Обрухвач“. Тя е предназначена за обработка на различни видове билки.

Обща характеристика на машината

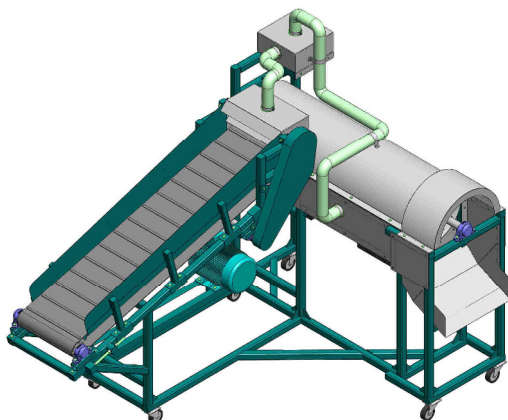
Машината показана на фиг. 3, е разработена по задание на фирма „Динам“ ЕООД, град Попово. Фирмата се занимава със закупуване, преработка, пакетиране и износ на различни видове билки.

Машината е предназначена за обработка на различни видове билки и в частност за обработване на коприва. Служи за отделяне на листната маса от стеблата.

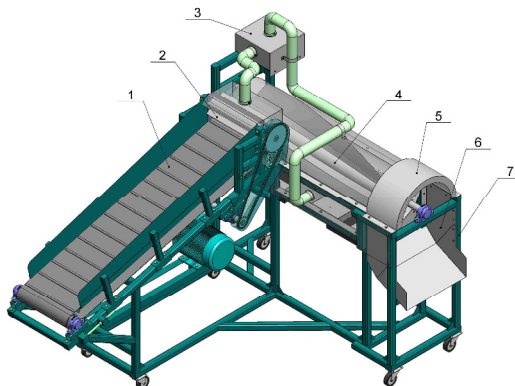
Устройство и принцип на работа на машината

Специализираната машина е разработена чрез CAD системата SolidWorks. На следващите фигури е показана машината и основните й съставни компоненти.

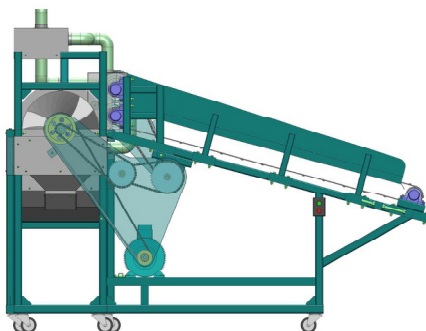
Машината се състои от транспортираща лента 1, дозатор 2, вентилационна система 3, шнек 4, предпазен капак 5 и улей 6. Всички компоненти са установени върху тяло 7, представляващо заварена



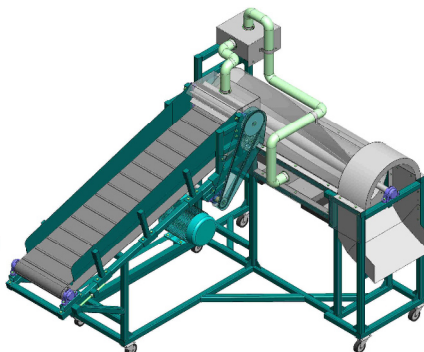
Фиг. 3. Специализирана машина „Обрухвач“



Фиг. 4. Устройство на машината

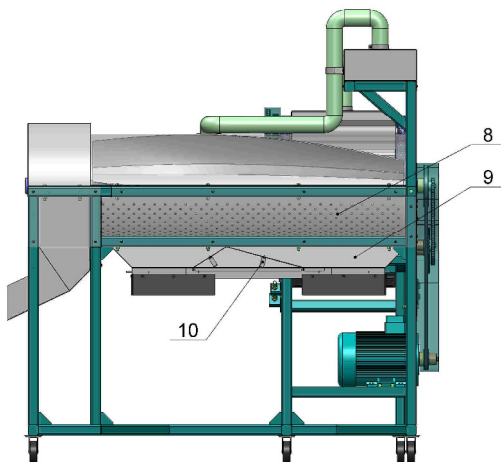


Фиг. 5. Задвижване на машината



тръбна конструкция.

Задвижването на машината се извършва от един електродвигател. Посредством ремъчна предавка се задвижва шнека, чрез набор от верижни предавки се задвижва дозатора, а чрез зъбна предавка се задвижва транспортиращата лента (фиг. 5).



Фиг. 6. Устройство на машината

Машината работи по следния начин. Предварително изсушената билка се поставя върху транспортиращата лента 1, а чрез дозатора 2, попада в работното пространство на шнека 4. Чрез дозатора се регулира количеството билка, за да не се получава натрупване на материал, което затруднява обработването му. Работното пространство на шнека, представляват огънати във формата на цилиндър ламарини. В цилиндъра става отделянето на листата от стеблата на билката. Отделените листа преминават през долната част на цилиндъра, която представлява сито 8, след което се събират в бункера 9. Шнека е

конструиран така, че да увлича и придвижва материала през ситото. Лопатките са от гума и служат за притискане на стеблата към ситото, без те да бъдат раздробени. Ситото е с голяма дължина, което позволява пълното отделяне на всички листа. Ъгълът на атака на лопатките на шнека е определен така, че да се намали времето на престой на билката в работното пространство. Това е така, за да не се раздробяват стеблата.

Качеството на обработената билка се определя опитно чрез сепаратора 10, който позволява преместване в двете посоки – наляво и надясно. Прието е първо качество на билката, да бъде само листна маса. Второ качество е, когато освен листна маса има и раздробени стебла. В този случай, в началото на ситото преминават само листата на билката, а в края на ситото освен листа, започват да се отделят и части от стеблата. За всеки вид билка отделянето на листата е различно по дължина на ситото, затова качеството винаги се определят опитно. Бункера е



Фиг. 7. Специализирана машината „Обрухвач“ – общ вид

конструиран така, че отделения материал да се събира в чували. Под него да се поставят два чувала, като във всеки един от тях се събира различно качество от билката. Съответно в първия чувал, разположен от дясно, се събира първо качество на билката, а във втория, разположен от ляво – второ качество (фиг. 6).

Отпадака, който представлява стеблата на обработваната билка се отделя през улея в някакъв съд. Капакът служи за предпазване от камъчета, които често попадат в изсушената билка. Те се улавят от него и отново попадат в улея.

Процеса на обработка е съпроводен с отделянето на голямо количество прах. Вентилационната система 3 служи за улавяне на праха, след което той се връща в бункера, където се събира в чувалите. По този начин се улавят и всички финни частици от билката, които също се използват.

На фиг. 7 е показана снимка на изработената машина.

Техническа характеристика на машината

Специализираната машина „Обрухвач“ е разработена така, че с нея да се постига висока производителност. Тоест всички нейни компоненти са избрани, изчислени или проектирани така, че това да е възможно, като се осигурява максимална ефективност и трайност на машината. Тя е лесна за поддръжка и обслужване. За работа с машината е нужен само един човек.

Опитно е установено, че за една работна смяна от 8 часа, с машината могат да се обработят до 2 тона билка. Това надхвърля многократно производителността на съществуващите подобни машини. Освен това машината има няколко основни предимства пред тях, това са:

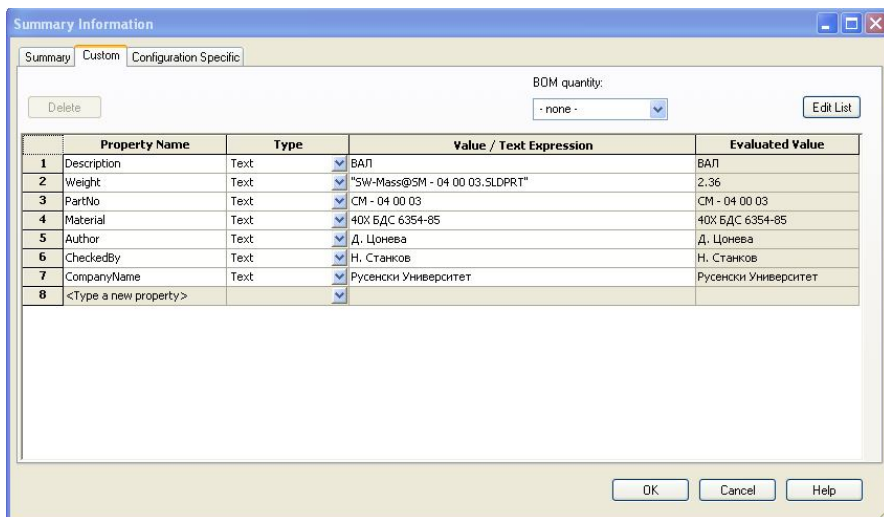
- наличие на транспортираща лента, която служи за пренасяне на билката до работното пространство на машината;
- наличие на дозатор, служещ за дозиране на точно определено количество от билката, попадащо в работното пространство на машината;
- специална конструкция на шнека, непозволяваща раздробяване на стеблата, а отделяне само на листната маса;
- наличие на сито, което може да бъде сменяно в зависимост от вида на обработваната билка;
- наличие на предпазен капак, улавящ случайно попаднали камъчета;
- наличие на бункер със сепаратор по качество, служещ за разделяне на билката по качества;
- наличие на вентилационна система, служеща за улавяне на отелящия се при обработването прах;
- задвижването на всички подвижни елементи и възли, се извършва от един електродвигател.

Особености при моделирането на тримерните модели на машината

Някои от тримерните модели на детайлите са разработени с модула за листов материал Sheet Metal, по този начин се получава разгъвката им, необходима за разкроя на детайлите от листов материал. За изработване на тялото на машината е използван модула за заварени конструкции Weldments. Всички стандартизирани детайли, като болтове, шайби, гайки, шпилки, верижни колела, зъбни колела, лагерни тела, са създадени чрез библиотеката Toolbox на SolidWorks. Зададени са вида и марката на материалите на детайлите, като по този начин се получава информация за специфичното тегло за всеки един от тях и като цяло за самата сглобена единица.

За всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица, в прозореца Custom от меню File Properties, са зададени и потребителските атрибути като наименование, означение, тип и вид на материала (марка на стоманата, листов, прътов или тръбен материал), вида обработка чрез която се получава детайла, номера на сглобената единица, към която принадлежи и др. (фиг. 8).

Тази информация е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично на чертежите.



Фиг. 8. Потребителски атрибути, които се добавят за всеки един тримерен модел на детайл или сглобена единица

Награди

С разработения проект – Разработване на специализирана машина „Обрухвач“, беше спечелено **ПЪРВО МЯСТО** в конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD – системи „Проектирай с CAD... и с мен!“, на Машинно-технологичния факултет на РУ „Ангел Кънчев“, проведен на 19.05.2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на направеното може да се обобщи:

1. С разработената машина са избегнати недостатъците на съществуващите машини от този тип.
2. С машината се постига висока производителност, многократно надвишаваща, производителността на съществуващите подобни машини.
3. Избегната е тежката физическа работа, съпровождаща обработването на билките.
4. Максимално е намалена запрашеността.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. <http://bg.wikipedia.org>
- [2]. www.babg.net

За контакти:

инж. Даниела Илиева Цонева, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“,
е-mail: danielateo@abv.bg

гл. ас. д-р инж. Николай Тодоров Станков, Катедра ТММРМ, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082/888 714,
е-mail: nstankov@uni-ruse.bg

доц. д-р инж. Александър Кирилов Иванов, Катедра ТММРМ, Факултет „Машинно-технологичен“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082/888 714,
е-mail: akivanov@uni-ruse.bg

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
"АНГЕЛ КЪНЧЕВ"

ГРАМОТА

Награждава се студентката

ДАНИЕЛА ИЛИЕВА ЦОНЕВА

класирана на ПЪРВО място

*в конкурс за най-добър проект,
разработен с CAD-системи*

Проектирай с CAD ... и с мен
(категория SolidWorks)

организиран от
МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

ДЕКАН: 
/доц. д-р Бранко Сотиров/

19.05.2014 г.
Русе

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
”АНГЕЛ КЪНЧЕВ”

ГРАМОТА

Награждава се студентът

ТЕОДОР АТАНАСОВ МИЧЕВ

*класиран на **ВТОРО** място*

*в конкурс за най-добър проект,
разработен с CAD-системи*

Проектирай с CAD ... и с мен
(категория SolidWorks)

организиран от
МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

ДЕКАН: 
/доц. д-р Бранко Сотиров/

19.05.2014 г.
Русе

Предимства и недостатъци за контрол и управление на превозни средства посредством GPS навигационни устройства.

Автор: Весела Христова

Научен ръководител: доц. д-р Борис Сакакушев

Abstract: *Advantages and disadvantages of control of vehicles through GPS navigation devices.*

Key words: navigation device, Global Position System, satellite, atomic Clocks, orbit.

ВЪВЕДЕНИЕ

Глобална система за позициониране това всъщност означава латинското съкращение GPS (Global Position System). Създадена в САЩ първоначално за военни цели през 1978г. с главен команден център в Колорадо Спрингс, Военновъздушна база „Шрийвър“. Идеята за създаването на спътниковата радионавигационна система се ражда още в края на 50-те години. GPS системата е проектирана и контролирана от Министерството на отбраната на САЩ. В момента може да се използва от всеки и то напълно безплатно. Поддръжката на системата струва около 400 милиона американски долара годишно, това включва и подмяна на остаряващи спътници. Системата се състои от 24 спътника които формират GPS сателитната мрежа. Първият изстрелян изкуствен спътник от системата е наречен Блок 2, той е изведен в орбита на 14.02.1989г. До момента са изстреляни общо 52 спътника, което показва 112% подмяна на стари спътници, чийто живот на експлоатация е свършил. Последният изведен в орбита е изстрелян с помощта на ракетата Делта 2.

Историческите данни показват, че идеята за създаването на радионавигационната система е взимана от СССР, когато СССР в края на 50-те години изстрелват първия изкуствен спътник наречен Спутник 1. На 4 Октомври през 1959г. във връзка с празнуването на Международната Геофизична година. Изстрелян в ниска около-земна орбита от стартова площадка Казахска СССР с Ракета Носител Р-7. Спутник 1 извършва една обиколка на земното кълбо за 96,2 минути със скорост 29 000 километра в час. Спътникът излъчва радиосигнали на честоти 20.005MHz и 40.002MHz, които са управлявани от радио-носители по света. Сигналът се излъчва в продължение на 22 дни, до 26 Октомври 1957г. когато батериите на предавателя свършват и той изгаря при навлизане в земната атмосфера на 4 Януари 1958г. като изминава 60 милиона километра и престоява 3 месеца в орбиталното пространство. Теглото на устройството е било около 83 килограма, добре конструиран и херметично уплътнен с помощта на гумени уплътнения. Представлявал е 2 полусфери съединени с 36 болта.

Благодарение на този изкуствен спътник група американски учени водени от Ричард Кешнер наблюдават сигналите излъчени от Спутник 1 и установяват, че поради ефекта на Доплер честотата на излъчвания сигнал е по-висока при приближаване и по-ниска при отдалечаване. Те открили, че ако знаят точната си позиция на Земята могат да определят къде точно се намира спътникът и обратното.

Ефекта на Доплер известен още като Доплеров ефект представлява промяна на приеманата от наблюдателя честота или дължина на вълната когато източникът и или наблюдателя се доближават, и намалява когато се отдалечават. За вълни разпространяващи се в дадена среда например звук във въздух трябва да се отчита поотделно движението спрямо средата на излъчвателя. Използва се в астрономията за определяне на местоположението на звездите в галактиките, също така намира приложение в радарната Метеорология за определяне скоростта на вятъра и в много други области.

След това откритие на учените им трябват 20 години за да реализират първият тестов спътник от системата. Той е изведен в орбита на 14.07.1974г. Наблюдавайки данните от тестовият спътник, учените установяват слабите и силните технически страни на модела също така и техническата му надеждност и на базата на направените изследвания проектират и конструират първият операционен спътник от настоящата GPS система (Фиг. 1). На 22 Февруари 1978г. в рамките на 2 години се изстрелват в орбиталното пространство още 5 спътника и в началото на 80-те години започва използването на системата. Разбира се тези 6 спътника не са достатъчни за затваряне на кръгът на системата за по- правилното и точно функциониране са нужни повече спътници за да може да има пълно покритие над земното кълбо. Поради тази причина се извеждат в орбиталното пространство още 18 спътникови устройства.



Фиг. 1. Спътник от GPS системата

Космическата част от системата се състои от общо 24 оперативни GPS спътника, разположени в 6 геоцентрични орбитални равнини, съдържащи по 4 спътника с наклон на орбита спрямо екватора под ъгъл 55 градуса. Те са разположени, така че във всеки един момент, във всяка една точка на земята да се виждат най малко 4 от тях. Всеки един спътник има на борда си 4 атомни часовника и извършва една пълна обиколка на своята орбита за 11 часа и 58 минути, което се равнява на половин звезден ден.

Атомните часовници са вид часовници, които измерват времето използвайки явления от атомната физика и по точно резонансните честоти на поглъщане на електромагнитното излъчване на атомите. Основният принцип на атомният часовник е да се използва генератор на електромагнитното излъчване в микровълновата или оптичната спектрална област, като се търси честота, при която се наблюдават преходи между двете състояния на атома. Всъщност той се използва като еталон за честота. Относителната грешка на измерване при съвременните атомни часовници достига до $5 \cdot 10^{-15}$. Предимството на тези атомни часовници, е че не се влияят от неравномерността във въртенето на земното кълбо.

През отделните сезони земята се върти различно, тази промяна се равнява на една хилядна от секундата, това прави отклонение от 5 секунди на всеки 10 години, ако се използват астрономически часовници те трябва да се пренастройват, а при атомните това не е нужно.

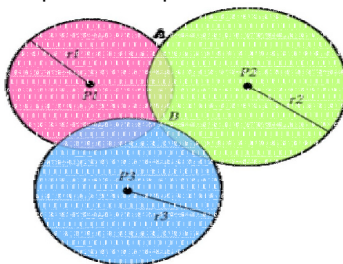
GPS спътниците излъчват сигнал на 2 носещи честоти, които са L1(1575,42MHz) и L2(1227,60MHz), които са кратни на стандартната честота (10,23MHz) на атомните часовници на борда и са модулирани с C/A- („Coarse acquisition”) и P- („Precise”) кодове. Честотата представлява физична величина характеризираща периодични явления, измерваща броя повторения на едно събитие за единица време. Измерването и се осъществява времеви интервал или се преброяват повтарящите събития и се разделят на интервалът. Въртенето на земята около оста и е вид периодично явление. Честотата се измерва в херцове Hz от името на немския физик

Хенрих Херц. Измерваща стойност 1 Hz означава, че дадено събитие се случва веднъж на всяка секунда.

Използвайки две честоти се елиминира грешката получена от закъснението на сигнала който преминавайки през йоносферата се променя. Наличието на йони и електрони влияят на разпространението на радиовълните.

Съществуват 3 категории GPS спътници: Блок 1; Блок 2 и 2a и Блок 2г. Първата категория Блок 1 са извеждани в орбита до 1985г. този тип спътници нямат възможност да деградира сигнала. Продължителността им на живот е четири години и половина, но вече не се използват. Спътниците Блок 2 и 2a извеждани в орбита след 1985г. имат възможност за деградиране на сигнала, продължителността им на живот е около седем години и половина. Блок 2г извеждан след 1996г. с продължителност на живота около десет години, освен че имат възможност за деградиране на сигнала е добавена възможност за комуникация между тях.

За да функционира системата правилно, точно и безотказно са нужни станции на земята наречени наземен контрол. Главният командващ център е този в Колорадо Спрингс, освен него има още пет наземни антени разположени в различни части на земното кълбо. Благодарение на правилната и безотказна работа на тези станции да синхронизират атомните часовници и да прогнозираят параметрите на орбитите, правят системата надеждна за използване от потребителите. Системата се използва както за военни така и за цивилни цели. GPS приемника декодира времеви сигнал подаван от атомните часовници на няколко сателита и изчислява позицията с помощта на метода трилатерация (фиг. 2). Това е метод за определяне позицията на обекти използвайки геометрията на окръжностите.



Фиг. 2. Трилатерация

В момента има голямо разнообразие от GPS приемници различаващи се по много показатели като точност, форма, приложение, цена, възможности и др. Приемниците на сигналът от сателита представляват устройства които определят географското положение и точните координати на текущото местонахождение на приемника антена. Навигациите биват използвани в различни области като например пътна, морския, авиационния транспорт, в селското стопанство, при планински преходи, за водачи на слепи хора и т. н.

Принципът на действие както споменахме вече се базира с метода на трилатерация, чрез който позицията на една точка се определя като пресечна точка на няколко окръжности или сфери с известен радиус и известни координати на центъра. Всеки GPS спътник може да се определи като център на сфера с координати съответно: позицията на спътника и радиус съответно: разстоянието от спътника до приемника. Даден приемник за да определи положението си той трябва да разполага с информация на какво разстояние са спътниците от него и техните точни координати. Всеки приемник определя разстоянието като пресмята времето за което сигналът изминава разстоянието помежду им, умножавайки го по скоростта на светлината. Това математически се изразява с следния израз: $R = (t_r - t_c) \cdot c$, където R

е изчисленото разстояние до спътника, t_r е времето на приемане на сигнала, t_c е време на излъчване на сигнала, а c е скоростта на светлината. Разстоянието изчислено в приемника съдържа грешки и не е реална стойност за това се нарича псевдоразстояние и именно то се използва за определяне на позицията. За да се изчисли времеви интервал за разпространение на радио сигналът от спътника до потребителя, приемникът и спътника генерират еднакъв код синхронизиран по време.

GPS спътниците изпращат известен повтарящ се 1023-битов псевдослучаен код, който приемниците са способни да генерират същия, в този случай се сравняват времето за пътуване на сигнала и се измерва закъснението на приетия код спрямо генерирания в приемника, по този начин точността на направеното измерване зависи от стабилността на бордовия еталон на честота. За да извършат измерването по-точно приемниците и спътниците се нуждаят от изключително точни часовници, за да бъдат синхронизирани генерираните сигнали.

За да се избегне тази грешка се използва генератор на честота с много голяма стабилност, реализиран с атомен часовник. Поради високата цена на тези часовници, обаче производителите на GPS устройства използват кварцови часовници, които биват далеч по неточни. Ако часовниците на приемника и спътника бяха идеално синхронизирани, то всички сфери с център-позициите на спътниците и радиус-разстоянията до тях щяха да се пресичат в една точка, която всъщност е търсената позиция. При непредизизните часовници тези сфери не се пресичат в една и съща точка, поради грешката в определянето на радиусите им.

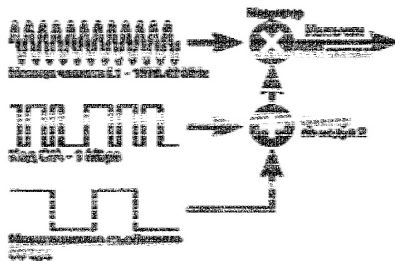
За да могат да се определят координатите на обектите, освен с разстоянието до спътниците е необходимо също да се знае тяхното текущо местоположение. Информацията за това се съдържа в излъченото от тях навигационно съобщение, чрез което се предават орбиталните параметри необходими за определяне на точното местоположение, параметрите за точността на часовниците за корекциите им и оценка за точността на положението. Координатите на всеки спътник се пресмятат в приемника въз основа на тези параметри. За да може да се определи положението на всеки приемник се взема точка от тримерното пространство на Земята, за определяне на която се вземат три неизвестни координатни величини които са: географска ширина, надморска височина и географска дължина, и към тях се прибавя грешката на часовника. Определяйки точното си местонахождение приемниците трябва да решат уравнение с три неизвестни наречено навигационно уравнение. Проблемът с предизизността се избягва като към това навигационно уравнение прибавим грешката на часовника в приемника. Алгоритъма за определяне на позицията компенсира грешката на часовника и позволява да се коригират разстоянията за изчисляването на точната позиция. Математическият вид на навигационното уравнение се изразява по следния начин:

$$[1] \quad \rho = \sqrt{(x_{si} - x)^2 + (y_{si} - y)^2 + (z_{si} - z)^2} + c\Delta T$$

Където ρ е измереното разстояние до спътник i ; x_{si} , y_{si} , z_{si} са координатите на спътник i ; c е скоростта на светлината; ΔT е грешката на часовника в приемника и x , y , z е позицията на приемника.

GPS-сигналът се състои от: два основни носещи сигнала; псевдослучайни реинджинг-кодове, с които са модулирани основните носещи честоти и навигационно съобщение; Носещите сигнали предават към потребителя псевдослучайните реинджинг-кодове и навигационното съобщение. Основната цел на реинджинг-

кодовете е да позволят да се определи времето на пътуване на сигнала (Фиг. 3) от източника (спътника) до приемника. Времето на пътуване, умножено по скоростта на светлината, дава разстоянието от източника до приемника. Навигационното съобщение модулира и двете носещи честоти и съдържа информация за положението на спътниците, грешките на часовниците на борда им, данни за състоянието на системата и параметрите на йоносферният модел използван при определянето на грешката от преминаването на сигнала през йоносферата.



Фиг. 3. Генериране на сигнала

В системата GPS се използва метод за многостанционен достъп с кодово разделяне на каналите (CDMA), който осигурява защита от смущения на приеманите сигнали. Всеки спътник предава радионавигационни сигнали с разширен спектър (SSS — Spread Spectrum Signal) на две кохерентни носещи честоти: 1575,42MHz (L1) и 1227,60MHz (L2). Освен тези честоти са предвидени и други, които се използват главно за военни цели или са предвидени за бъдещо използване:

- L1 (1575,42MHz): Основна честота за GPS, използвана за носеща честота на сигналите, кодирани с граждански код
- L2 (1227,60MHz): Използвана за кодиране на сигнала с военен код
- L3 (1381,05MHz): Носеща честота на сигнали, използвани от Министерството на отбраната на САЩ за откриване на атомни детонации, изстрелване на ракети и други високо енергийни, събития от инфрачервен характер.
- L4 (1841,40MHz): Проучвана за допълнителни корекции на грешките в йоносферата
- L5 (1176,45MHz): Предвидена за бъдещо гражданско използване

За да се пренесе необходимата за определяне на положението информация, носещите честоти са модулирани по фаза с два различни псевдослучайни кода и с навигационното съобщение. Те съдържат съответно разстоянието до излъчващия спътник и положението на съзвездие от всички GPS-спътници. Честотата L1 е модулирана с два кода и е предназначена за граждански потребители, докато честотата L2 е модулирана само с един военен код. Навигационното съобщение се съдържа и в двата сигнала. Всички сигнали, генерирани от GPS-спътниците, се получават като кратни на основната честота на атомните часовници на борда им. Спътниците от Block II/IIA са екипирани с два цезиеви и два рубидиеви часовника, които генерират синусоиден сигнал с основна честота $f_0 = 10,23\text{MHz}$. За да компенсира релативистичните ефекти, изходната честота, генерирана от спътниците, е $10,23\text{MHz}$ (както се приема от наблюдател на земята), отместена с $\Delta f = -4,57 \times 10^{-10} \text{ Hz}$. Чрез умножение на основната честота f_0 по 154 и по 120 се получават съответно честотите на двата носещи сигнала L1 и L2:

$$[2] \quad f_{L1} = f_0 \times 154 = 1575,42\text{MHz} \text{ (дължина на вълната } \lambda_{L1} = c / f_{L1} = 19\text{cm})$$

$$[3] \quad f_{L2} = f_0 \times 120 = 1227,60\text{MHz} \text{ (дължина на вълната } \lambda_{L2} = c / f_{L2} = 24\text{cm})$$

Всички GPS-спътници излъчват сигнал на една и съща честота, но се приемат с различни поради ефекта на Доплер. Псевдослучайните кодове (PRN code) се използват за определянето на разстоянието до спътниците. Тези кодове имат характеристики, близки до случаен шум, но с циклични повторения. Към псевдослучайните сигнали се добавят навигационните данни, които се съдържат в бордовите компютри на спътниците и се актуализират от земният команден център. Всеки спътник се идентифицира по псевдослучаен номер (PRN-number), което позволява използването на една и съща честота за всички спътници. Съществуват два вида псевдослучайни кодове, които се използват при GPS: C/A-код („clear/access“ или „coarse/acquisition“ code) и P-код („private“ или „precise“ code). C/A-кодът се състои от 1023 бита с повторение 1 милисекунда. Всеки спътник излъчва уникална поредица от 1023 бита, което позволява на приемника да го различи от останалите. Прецизният P-код се използва за военни цели и представлява псевдослучаен код с цикъл на повторение 266,4 дни и се състои от $2,3547 \times 10^{14}$ бита. Всеки спътник излъчва уникален отрязък от този код, който се променя всяка седмица. Навигационното съобщение представлява сигнал с честота 50 Hz, съдържащ данни за орбитите на спътниците, корекции на часовниците, данни за състоянието на системата и др. Тези данни се предават непрекъснато от спътниците и служат за определяне на позицията им и времето на излъчване на сигнала. Прецизните данни за орбитите се наричат ефемериди и се обновяват на всеки два часа. Друг вид данни, наречени алманахи, се обновяват веднъж на седмица и не са толкова прецизни както ефемеридите. Цялото навигационно съобщение се състои от 37 500 бита и при честота от 50 bit/s са необходими 12,5 минути за предаването му. Това е времето необходимо и за инициализирането на един приемник, за да може да определи позицията, ако няма запазена информация в паметта.

Навигационното съобщение е разделено на 25 части (структури), всяка от които е по 1 500 бита, предавани за 30 секунди. Всяка от тези части е разделена на 5 подчасти от по 300 бита или 10 думи от по 30 бита. Първата дума на всяка структура се нарича TLM („telemetry word“) и съдържа информация за „възрастта“ на ефемеридите, следващата дума се нарича HOW („hand over word“) и съдържа информация за времето от последното „рестартиране“ на GPS-времето. Тя дава възможност и за използването на P-код на потребители, оборудвани с дешифратор. Всяка от 5-те подчасти на структурите на навигационното съобщение съдържа данни както следва:

- Първата съдържа времето на излъчване на съобщението, параметри за точността на часовниците и корекциите им, както и информация за състоянието на спътника и оценка за точността на положението му. Тази част съдържа също и 10-битов номер на седмицата (от 0 до 1023), започващ от 00:00 часа на 6 януари 1980г. и рестартиран на всеки 1024 седмици.
- Втората и третата съдържат данни за ефемеридите, които представляват много точни параметри за орбитите на спътниците.
- Четвъртата и петата съдържат данни за алманасите (приблизителни орбитални параметри) и състоянието на спътниците, както и информация за UTC времето и йоносферни корекции.

Както всяка сложна техническа система, така и GPS се влияе от различни източници на грешки, което води до неточни резултати при определянето на координатите на приемника. В идеалния случай системата би трябвало да определя точно параметрите, необходими за изчисление на позицията, но на практика грешката достига от няколко метра до десетки метри. Съществуват няколко причини за грешка в GPS навигациите. Тази грешка се появява, когато навигационното съобщение не предава точните координати на спътниците. Позицията им обикновено е известна с грешка в порядъка между 1 и 5 метра и води до отклонение в положението от няколко метра. Грешката в позицията на спътниците има тенденция да нараства с времето, тъй като орбиталните параметри, необходими за изчисляването на положението на спътника, се обновяват на два часа и това води до натрупване на грешка при изчисленията с времето.

Времето, което се отчита по атомните часовници на сателитите, се влияе от ефекта на разтягане на времето, обоснован от теорията на относителността на Айнщайн. Ходът на часовника зависи както от разположението му в гравитационно поле (съгласно общата теория на относителността), така и от скоростта, с която той се движи (съгласно специалната теория на относителността). На височината, на която сателитите летят около Земята, влиянието на гравитацията е 6 пъти по-силно от това на скоростта (забързване от порядъка на $46 \mu\text{s}/\text{ден}$ поради гравитационния ефект спрямо забавяне от порядъка на $7 \mu\text{s}/\text{ден}$ поради ефекта на скоростта). Поради тази причина, времето на сателитите избързва с около $38\text{-}39 \mu\text{s}/\text{ден}$. Или относителната разлика в хода ($= \Delta t/t$) спрямо един земен часовник е едва от порядъка на $4,4 \cdot 10^{-10}$, но въпреки това е по-висока от относителната точност в хода на рубидийните атомни часовници, която е по-висока от 10^{-14} .

Ионосферата е една от основните причини за грешки при определянето на позицията с GPS. Поради наличието на свободни електрони в йоносферата, скоростта на електромагнитните вълни намалява при преминаването през тази област. В резултат на това се променя разстоянието до спътниците, изчислено на базата на скоростта на светлината във вакуум, и се получават грешки от порядъка на 10 метра. За да се избегнат тези отклонения съществуват два основни метода:

- използване на модел на закъснението, който използва информация от навигационното съобщение за оценка на грешката.
- използване на две честоти на сигнала, като по този начин директно се изчислява закъснението. В случая се използва свойството на сигналите, че при различни честоти закъснението в йоносферата е различно.

Вторият метод е много по-точен и практически елиминира грешката от закъснение в йоносферата, но използването на две честоти не е достъпно за цивилните потребители, а се използва за военни цели. Все пак съществуват приемници, които са способни частично да декодират двете честоти и да използват по този начин корекциите за йоносферното закъснение. Както йоносферата, така и тропосферата води до промяна на скоростта на разпространение на GPS-сигнала. Промяната в температурата, налягането и влажността на въздуха са фактори за промяна на скоростта на радиовълните. Подобно на йоносферния модел за корекция на грешката, и при тропосферните отклонения се използва моделиране за изчисление на закъснението.

Мултипат се нарича грешката, предизвикана от отразяването на сигналите от различни повърхности. При отражението на сигнала пътят, който той изминава, се удължава, а с това се променя и измереното разстояние до спътниците. По този начин, когато се смесят отразените сигнали има неточност при определянето на стойностите на разстоянията и се получават грешки при определяне на положението. Мултипат-грешките, заедно с йоносферните закъснения, оказват най-

голямо влияние върху точността на позицията. За намаляване на тази грешка се използват подобрени антени или специални приемници, които изчисляват отклоненията. Определянето на позицията зависи от броя и разположението на спътниците. Колкото повече спътници са на разположение, толкова по-точно може да се определи положението. Разпределението на спътниците на небосклона също има значение. Колкото по-равномерно са разположени, толкова по-точна е позицията. Умишлени грешки са въвеждани от Министерството на отбраната на САЩ и се изразяват в промяна на параметрите на бордовите часовници и грешни орбитални параметри. Военните приемници са снабдени с кодове, които са способни да анулират тези грешки, но цивилните потребители нямат достъп до тях.

Методът на въвеждане на грешки се нарича избирателен достъп (на английски „Selective Availability“) и е отменен през 2000г. Все пак американските военни си запазват правото да въведат този метод, когато смятат за необходимо.

За подобряване на точността при определяне на координатите се използват диференциални GPS системи за корекция на грешките. Тези системи включват една или няколко неподвижни контролни станции с точно известни координати, в които се сравняват действителното и изчисленото положение, пресмятат се корекциите и се предават към потребителите в зоната на обслужване. Най-голямо разпространение имат системите WAAS (покрива северно-Американския континент), EGNOS (Европа и част от Африка) и MSAS (Япония). Принципът им на работа и начина за обратна връзка към GPS-приемника е практически еднакъв, и повечето от GPS устройства, поддържат корекция чрез една от трите системи.

Наред с диференциалните системи съществуват и други методи за подобрене на точността на изчислената позиция, като съчетване на GPS приемници с инерциални системи или използване на алгоритми за определяне на изправността на спътниците. В първия случай, GPS приемниците се комбинират с жирокомпас и акселерометър, които позволяват на приемника да определя позицията дори при загуба на сигнала. Във втория случай, приемниците използват алгоритми за определяне на изправността на спътниците и изключват от навигационното уравнение тези, които не са достатъчно надеждни.

Целта е да се представят подробно и разбираемо предимствата и недостатъците за контрол и управление на превозни средства посредством GPS навигационни устройства и да се обобщат тезите доказващи това. С помощта на приемник снабден с GPS антена и необходимите програми за позициониране и определяне на маршрути по зададени координати. Да се изследва грешката при измерване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Начинът по който дадено GPS навигационно устройство може да определи своето местоположение, скорост или да координира GPS световно време, зависи от сложното взаимодействие на различни фактори. Като цяло рамките на GPS точността зависят от качеството на приеманите сигнали, под формата на псевдоразстояния или фазови измервания, както и от получените радио навигационни данни по време на измерването.

Всеки един източник на грешка влияе върху GPS наблюденията по различен начин и с различна големина, като основно можем да разграничим следните видове грешки в измерванията: грешки, дължащи се на йоносферната и тропосферна рефракция; грешки, дължащи се на отразените сигнали; грешка в ефемеридата на спътника; грешка в часовниците на спътника и на приемника; грешки, произтичащи от шум в близост до приемника и др.

Изкривяването на траекторията на радиовълната в резултат на изменение на

диелектричната проницаемост на въздуха при изменение на височината се нарича тропосферна рефракция. Съществуват три вида рефракция, при които радиусът на траекторията и респективно еквивалентният земен радиус имат фиксирани стойности:

- нулева – при нея нямаме закривяване на траекторията на вълната, т.е. коефициентът на пречупване на тропосферата не се променя във височина;
- нормална – при средно състояние на тропосферата, дефинирано чрез понятието стандартна тропосфера в началото на този раздел;
- критична – при нея траекторията на вълната е успоредна на земната повърхност, което е равнозначна на разпространение над плоска земна повърхност ($R_e = \infty$).

ЗАДАЧА:

Избираме възлови точки от маршрут АБ показан на схема 1. Не случайно местата които ще изберем за изследването ще бъдат на места където е най-вероятно да се получи отклонение на маршрута от върната посока, отбелязваме възловите точки. На базата на избраните точки започваме изследване. Методиката на изпълнение е следната измерващото устройство се позиционира на всяко едно от посочените места без да променя своето място при протичане на изследването.



Схема 1. На схемата е изобразен маршрутът зададен в задача 2 и възловите точки необходими за направата на измерванията и решението на задачата

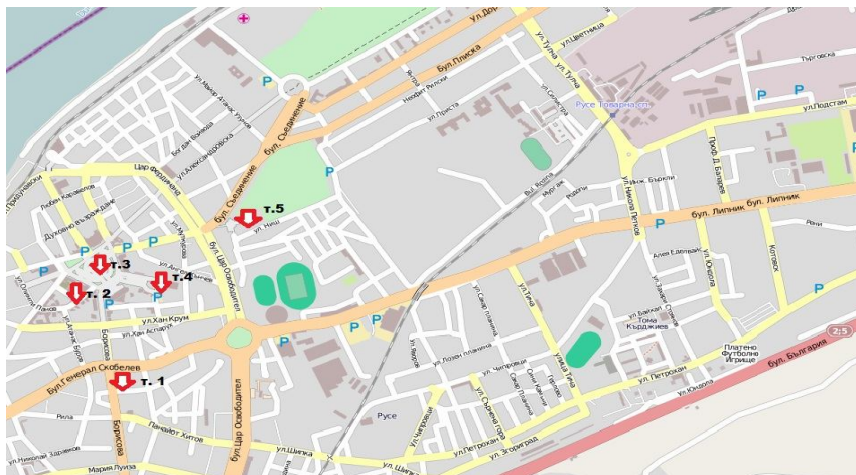


Схема 2. Данни за местата за направата на необходимите измервания

Методиката на изпълнение е следната измерващото устройство се позиционира на всяко едно от посочените места без да променя своето място при протичане на изследването. В таблица 1 е описано всяко едно измерване, както и часът в който е направено.

Таблица 1. Данни от направените измервания

Точка номер:	Час на измерване:	географската дължина ф [N] шумна среда	географската ширина λ [E] шумна среда
1	12:00	43°50'39,189"	25°57'14,189"
1	12:02	43°50'39,203"	25°57'14,113"
1	12:04	43°50'39,175"	25°57'14,141"
1	12:06	43°50'39,175"	25°57'14,141"
1	12:08	43°50'39,134"	25°57'14,415"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ф [N] тиха среда	Географската ширина λ [E] тиха среда
1	21:00	43°50'39,134"	25°57'14,443"
1	21:02	43°50'39,162"	25°57'14,671"
1	21:04	43°50'39,203"	25°57'14,814"
1	21:06	43°50'39,272"	25°57'14,896"
1	21:08	43°50'39,272"	25°57'14,896"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ф [N] шумна среда	географската ширина λ [E] шумна среда
2	12:15	43°50'53,073"	25°57'09,417"
2	12:17	43°50'53,087"	25°57'09,451"
2	12:19	43°50'53,142"	25°57'09,520"
2	12:21	43°50'53,073"	25°57'09,616"
2	12:23	43°50'53,403"	25°57'09,575"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ф [N] тиха среда	Географската ширина λ [E] тиха среда

2	21:15	43°50'53,252"	25°57'09,568"
2	21:17	43°50'53,252"	25°57'09,568"
2	21:19	43°50'53,114"	25°57'09,588"
2	21:21	43°50'53,169"	25°57'09,719"
2	21:23	43°50'53,334"	25°57'09,753"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] шумна среда	географската ширина λ [E] шумна среда
3	12:30	43°50'55,174"	25°57'12,163"
3	12:32	43°50'55,174"	25°57'12,163"
3	12:34	43°50'55,243"	25°57'12,744"
3	12:36	43°50'55,243"	25°57'12,744"
3	12:38	43°50'55,229"	25°57'12,518"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] тиха среда	Географската ширина λ [E] тиха среда
3	21:30	43°50'55,188"	25°57'12,504"
3	21:32	43°50'55,161"	25°57'12,490"
3	21:34	43°50'55,161"	25°57'12,490"
3	21:36	43°50'55,147"	25°57'12,511"
3	21:38	43°50'55,147"	25°57'12,511"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] шумна среда	географската ширина λ [E] шумна среда
4	12:45	43°50'54,199"	25°57'24,287"
4	12:47	43°50'54,309"	25°57'24,042"
4	12:49	43°50'54,529"	25°57'24,529"
4	12:51	43°50'54,106"	25°57'24,120"
4	12:53	43°50'54,202"	25°57'24,271"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] тиха среда	Географската ширина λ [E] тиха среда
4	21:45	43°50'54,037"	25°57'24,244"
4	21:47	43°50'54,680"	25°57'24,997"
4	21:49	43°50'54,570"	25°57'24,291"
4	21:51	43°50'54,570"	25°57'24,770"
4	21:53	43°50'54,746"	25°57'24,925"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] шумна среда	географската ширина λ [E] шумна среда
5	13:00	43°51'01,862"	25°57'37,638"
5	13:02	43°51'01,862"	25°57'37,638"
5	13:04	43°51'01,752"	25°57'37,363"
5	13:06	43°51'01,450"	25°57'37,841"
5	13:08	43°51'01,478"	25°57'37,848"
Точка номер:	Час на измерване	географската дължина ϕ [N] тиха среда	Географската ширина λ [E] тиха среда
5	22:00	43°51'01,478"	25°57'37,848"
5	22:02	43°51'01,546"	25°57'37,917"
5	22:04	43°51'01,574"	25°57'37,992"
5	22:06	43°51'01,601"	25°57'37,992"

5	22:08	43°51'01,601"	25°57'37,233"
---	-------	---------------	---------------

Извеждат се средните стойности получени при пресмятания за осъществяването на които сме взели стойностите от таблица 1, и получените координати сравняваме с техните референтни стойности.

Таблица 2. Средните стойности на измерените величини както и техните референтни стойности

Точка номер:	Ср-ст за ϕ [N] шумна среда	Ср-ст за λ [E] шумна среда	Ср-ст за ϕ [N] тиха среда	Ср-ст за λ [E] тиха среда	Реф. Ст-т. за ϕ [N]	Реф. Ст-т. за λ [E]
1	43°50'39,175"	25°57'14,200"	43°50'39,208"	25°57'14,744"	43°50'39,000"	25°57'16,500"
2	43°50'53,155"	25°57'09,516"	43°50'53,223"	25°57'09,639"	43°50'53,000"	25°57'10,000"
3	43°50'55,212"	25°57'12,446"	43°50'55,161"	25°57'12,501"	43°50'55,300"	25°57'12,500"
4	43°50'54,269"	25°57'24,250"	43°50'54,520"	25°57'24,645"	43°51'02,410"	25°57'38,570"
5	43°51'01,680"	25°57'37,666"	43°51'01,560"	25°57'37,796"	43°50'53,000"	25°57'24,000"

За всяка една стойност получена в Таблица 2 пресмятаме грешката на средството за измерване.

Таблица 3. Извеждане на грешката на уреда

Точка номер:	Грешка за ϕ [N] шумна среда	Грешка за λ [E] шумна среда	Грешка за ϕ [N] тиха среда	Грешка за λ [E] тиха среда
1	-0,175"	2,300"	-0,208"	1,756"
2	-155"	0,484"	-0,223"	0,361"
3	0,088"	0,054"	-0,139"	-0,001"
4	48,141"	14,32"	47,890"	13,925"
5	-6'22,320"	-13,666"	-48,560"	-13,796"

Определяне на отклонението от реалното местоположение в метри.

Таблица 4. Извеждане на грешката при определяне на местоположението в метри

Точка номер:	Грешка в метри за ϕ [N] шумна среда	Грешка в метри за λ [E] шумна среда	Грешка в метри за ϕ [N] тиха среда	Грешка в метри за λ [E] тиха среда
1	-0,001	0,023	-0,002	0,01
2	-1,55	0,004	-0,002	0,003
3	0,0008	0,0005	-0,001	-0,00001
4	0,48	0,143	0,47	0,13
5	-3,98	-0,13	-0,48	-0,13

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предвид направените измервания и изчисления стигам до следното заключение: максималната грешка в шумна среда е най-висока като стойност, следователно потвърждава тезата, че шумът влияе върху средствата за измерване и води до големи отклонения от реалните координати при определяне на местоположението. Следващият тип грешка, която ясно се вижда е тази на отразените сигнали. Такава грешка наблюдаваме в точка 4. За да се обоснова давам за пример точка 3, в близост от 500 метра около нея няма сгради които да отразяват сигналът следователно всяко едно измерване е частен случай и за да подобрим точността му винаги трябва да имаме в предвид заобикалящите ни фактори.

Глобализацията в 21-ви век е процес, който бавно, но сигурно променя облика на нашия свят и начина, по който живеем. Едно от малкото добри неща, които тя носи след себе си е възможността човек да получава все по добри стоки и услуги, покриващи неговите индивидуални предпочитания и изисквания. Ще се

заемем с задачата да изложим предимствата и недостатъците влияещи пряко върху потребителите, за да открием проблема и да подобрим ефективността.

Предимствата при използването на навигационните устройства ни позволяват да определяме точното си местонахождение, да избираме подходящ маршрут с цел изразходване на по малко количество гориво, и другото най-важно предимство е че посредством внедряване на системата в транспортно средство получаваме информация за местонахождението на обекта във всеки един момент и системата позволява да се архивира изминалите маршрути, т. е. имаме пълен контрол върху превозното средство. Също така можем да измерваме показателите на превозното средство като: изминати километри, разход на гориво, ниво и налягане на маслото, температура на двигателя, скорост и др. Отчитането и обработването на тези данни се прави без каквато и да е човешка намеса, което елиминира възможността за недоброжелателното им модифициране като по този начин спестява средства.

Недостатъците на този метод за контрол и управление на превозните средства крие своите рискове. Технологиата поддържаща и създаваща комуникацията между обектите, както много добре знаем е компютърен софтуер разработен високотехнологично и в същото време не е застрахован от недоброжелатели, които могат да причинят срив в системата и загуба на записаната информация. Това е много голям проблем и недостатък, който в наши дни е неизбежен, хубавото е поне, че може да бъде предвиден. За разреждането му и предотвратяването на подобни нежелателни намеси периодично може да се записва информацията от транспортното устройство на периферно устройство за съхранение на данни за да се намалят щетите от загуба на информация. Хубавото на този метод, е че дори и да има пробив в системата ще бъде унищожена само част от информацията, и в такъв случай възстановяването и е по лесно постижимо.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Нейман В.С. и др. „Все о GPS – навигаторах“, NT Press, Москва, 2005.
- [2]. Соловьев Ю. А. "Спутниковая навигация и ее приложения", Эко – трендз, Москва, 2003.
- [3]. Seeber, G.- "Satellite Geodesy", Walter de Gruyter, Berlin, 2003 г.;

За контакти:

Инж. Весела Христова; РУ "Ангел Кънчев"; e-mail: s131310@stud.uni-ruse.bg
Доц. Д-р Б. Сакакушев; РУ "Ангел Кънчев" Катедра „Технология на машиностроенето и металорежещи машини“; e-mail: bsak@uni-ruse.bg

Проверка якостта и качеството на точков заваръчен процес чрез радиално натоварване

Автор: Миглена Ангелова

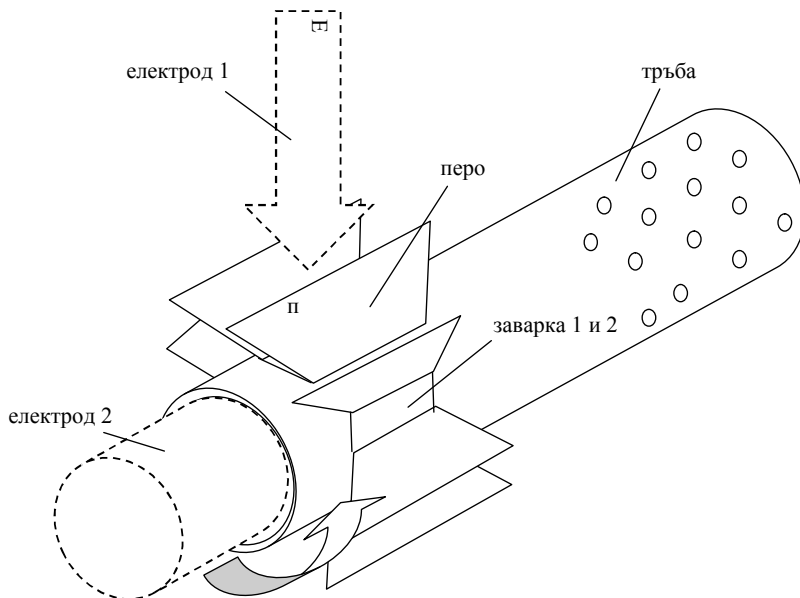
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров

Abstract: This experiment tracks the variables in a two-points welding process on a tube and 5 equally distributed launders with a spill machine. The tube is made of still 45 and the launder from still 20. In this experiment we are trying to find the optimal value of the amperage and the pressure on the electrodes during the diffusion in order that the detail to resist on more than 2 tones pressure. We will make 10 experience's with a different state of value.

Key words: two-point welding process, spill machine, electrode, diffusion, variable values and pressure.

ВЪВЕДЕНИЕ

Експеримента проследява зависимостта на якостните характеристики на процес на двуточково заваряване на сборка от детайл тръба (изработен от стомана 45) и 5 равномерно разпределени по окръжността й пера (изработени от стомана 20) чрез заварка. Търсим оптималната стойност на преминаващия през електродите ток и приложеното налягане по време на дифузията за устойчивост на сборката на 2 тона натоварване. За целта се провеждат 10 експеримента, данните от които се обработват в Statgraphics. Проверката на якост на опън се провежда на универсална разривна машина ZD 40 с обхват до 40 тона натоварване (4000 kg/f). Експериментът се провежда на точково заваръчен апарат с марка МТ-1617 за създаване на първа заваръчна точка и МТ-1927 за втора заваръчна точка. За задаване на режимите са свързани програматори РВИ-801 и измервателни уреди, и за двата апарата.



Фиг.1. Сборката, електродите и заварките

Изложение:**В заваръчния процес основните контролирани параметри са:**

1. Дебелината на областта на контакта на неподвижният електрод, на които се установява детайла (по него не протича ток, той може да се нарече пасивен) и дебелината на горния електрод (активен и подвижен). При работа в ъглов режим промените в отпечатъка от заварката могат да се променят драстично при отклонение;

2. Разстоянието между горния и долния електрод трябва да е по-малко от височината на сглобената единица ($0.5 \div 1\text{mm}$) гарантиращо дифузионния процес. За целта се подава налягане по горния електрод по време на заваръчния процес за достигане зададения размер между електродите;

3. Контролира се чистотата на повърхностите на детайла. Детайлът трябва да е сух, почистен от окиси, обезмаслители, без неравности и грапавини по повърхността за заваряване;

4. $t^{\circ}\text{C}$ на водата на охладителната система. Когато преминава през електродата трябва да е $18^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$. Охлаждането на електродата се извършва след заваръчния процес с продължителност 1 сек. Процесът се извършва на два цикъла - къс и дълъг (когато температурата на помещението е висока);

5. Гарантира се перпендикулярността на сборката спрямо електродите с помощта на приспособление. Концентрацията на заварката в точка се постига чрез изолиране на заварените детайли спрямо приспособлението. В противен случай се получава разсейване на тока през приспособлението.

<u>Заваръчния процес се осъществява в производствени условия, затова неконтролираните параметри които могат да окажат влияние са:</u>	<u>Изпитанието на якостните характеристики се извършва в лаборатория с контролирани условия:</u>
23 ⁰ C); -вибрации; -температура (тя варира от 18 ⁰ C до -влажността на въздуха; -запрашеност; -осветеност.	- добра звукова изолация; - поддържа се 23 ⁰ C температура; - контролира се влажността на помещението; - запрашеност; - осветеност.

Стабилност на процеса

За да се постигне стабилност на процеса, на програматора се задава режим на време на изчакване за достигане на необходимите параметри за осъществяване на заваръчния процес;

1. време на нарастване на налягането;

2. цикъл на тока

➤ основен заваръчен цикъл- време през което протича ток за основния заваръчен цикъл;

➤ допълнителен заваръчен цикъл:

(Режим на тока има 3 варианта- постоянен, не постоянен и не постоянен само с основен цикъл. Допълнителните показатели на тока са време за нарастване на заваръчния ток, големина на заваръчния ток в основен цикъл и в допълнителен цикъл.)

3. време на намаляване налягането;

4. време на изчакване за втора операция;

5. задържане на температура с цел бавно охлаждане.

С цел по добър контрол към машината са инсталирани манометър, волтметър, амперметър и термометър.

Сглобките се заваряват в две точки за всяка перка (общо 10 заваръчни точки на детайл). Изпълняват се на различни машини тъй като са на различно разстояние спрямо челото на детайла тръба.

Критерии за окачествяване на заварката:

- размер на петното от заварката;
- наличие на разлив на материала;
- място на скъсване на заварката- търсим скъсване на перото.

Изпълнение на експеримента:

Параметрите които променяме са:

*X - големина на заваръчен ток в основен цикъл - вземаме за номинал A=100 ампера;

*Y - големина на налягането - вземаме номинал N=2000 kg/f;

*Z – разрушаваща сила – търсим min от 2000 kg/f.

Останалите параметри са гарантирано от програматора непроменени по време на изпълнението на заварката.

Таблица 1 Резултати от експеримента

Комбинация от		Показания на опънови изпитания на детайл за всяко							Средна
№	контролирани параметри		перо в kg / f					стойност kg / f	
	X	Y	1 перо	2 перо	3 перо	4 перо	5 перо	Z	
1	N+20	N+100	2020	2200	1800	2000	2100	2024	
2	N-20	N+100	2400	1800	2200	2350	2000	2150	
3	N+20	N-100	1000	1250	1200	1050	900	1080	
4	N-20	N-100	800	1100	950	1050	1200	1020	
5	N+20	N	1800	1600	1750	1900	1500	1710	
6	N-20	N	1450	1500	1750	1300	1600	1520	
7	N	N+100	2800	2750	2600	2900	2850	2780	
8	N	N-100	1200	1100	1100	1400	1200	1200	
9	N	N	2200	2000	1900	2050	2300	2090	

Обработка на данните.

STATGRAPHICS е статистика пакет който обяснява основни и усъвършенствани статистически функции. Statgraphics често се използва в промишленото производство, социални изследвания, хранително-вкусовата индустрия и др. STATGRAPHICS Six Sigma е добавка към Microsoft Excel за определяне, измерване, анализ, подобряване и контрол, като се използва за различни изчисления, необходими при изучаването или прилагане на Six Sigma.

Таблица 2 Стойности и коефициентите им

№	X1	X2	Z	
1	1	1	1	2024
2	-1	-1	1	2150
3	1	1	-1	1080
4	-1	-1	-1	1020
5	1	1	0	1710
6	-1	-1	0	1520
7	0	0	1	2780
8	0	0	-1	1200
9	0	0	0	2090

Чрез програмата Statgraphics е търсен модел от вида

$$(1) \quad Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2$$

за който :

b - Стандартната грешка на оценка (Standard Error of Estimate);

X1, X2 – независимите променливи.

Проверяваме моделът за адекватност чрез P вероятността- която тества остатъците за да се определи дали има някаква значима корелация. Ако P - стойността е по-голяма от 0.05 няма признаци на сериена автокорелация в остатъците на 95.0% .

$$(2) \quad P[F; Df_M; Df_R] = 0.05 \max ,$$

Таблица 3 Независимите променливи

		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	2066.22	146.649	14.0896	0.0008
X1	20.6667	80.3228	0.257295	0.8136
X2	609.0	80.3228	7.58191	0.0048
X1*X2	-46.5	98.3749	-0.472682	0.6687
X1^2	-439.333	139.123	-3.15787	0.0510
X2^2	-64.3333	139.123	-0.46242	0.6753

От таблицата се вижда, че незначими са коефициентите b1, b1*b2 и b2^2, тъй като стойността на P-value е значително по-голяма от 0.05 .

Таблица4 Анализ на дисперсията

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2.6308E6	5	526161.	13.59	0.0284
Residual	116131.	3	38710.5		
Total (Corr.)	2.74693E6	8			

R-squared = 95.7723 %

R-squared (adjusted for d.f.) = 88.7262 %

Standard Error of Est. = 196.75

Mean absolute error = 99.6049

Durbin-Watson statistic = 2.5211 (P=0.7395)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.326774

Тъй като P - стойност в таблицата ANOVA(Analysis of variance) е по-малко от 0.05 , има статистически значима връзка между променливите на 95,0% .R-squared показва, че моделът обяснява 95,7723% на променливостта в Z .Коригираната R-squared, която е подходяща за сравняване на модели с различен брой независими променливи , е 88,7262% .Standard Error of Estimate показва че стандартното отклонение на остатъците е 196.75 (тази стойност може да се използва за

изграждане на гранични прогнози за нови наблюдения) . Mean absolute error (MAE) от 99.6049 е средната стойност на остатъците .

Графика 1 Зависимата променлива Z

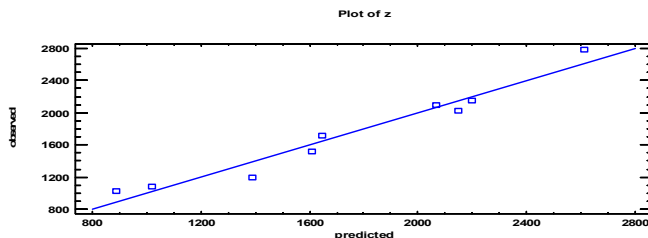
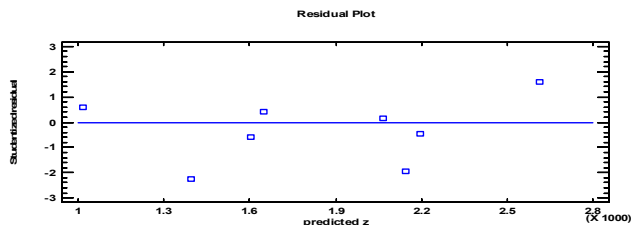


Таблица 5 Необичайни остатъци

		Predicted		Studentized
Row	Y	Y	Residual	Residual
4	1020.0	886.389	133.611	2.75
8	1200.0	1392.89	-192.889	-2.27

Таблицата на необичайните остатъци изброява всички наблюдения на стандартизирани остатъци (Studentized residuals), които са два пъти по-големи в абсолютна стойност. Тези остатъци измерват за колко от стойностите на Z се наблюдава стандартно отклонение от модела. В този случай има два стандартизирани остатъци по-големи от 2, но не е по-големи от 3.

Графика 2 Необичайните остатъци



Прилагаме

$$(2) \quad P[F; DfM; Df R] = 0.028 ,$$

от което следва че моделът е адекватен.

Крайнният резултат показва множествена линейна регресия описваща връзката между Z и 5 независими променливи . Уравнението на модела е

$$(1) \quad Y = 2066.22 + 20.6667 \cdot X_1 + 609.0 \cdot X_2 - 46.5 \cdot X_1 \cdot X_2 - 439.333 \cdot X_{12} - 64.3333 \cdot X_{22}$$

При определяне на това дали моделът може да бъде опростена , забелязваме че най-високата P - стойността на независимите променливи е 0.8136 , принадлежаща към X_1 . Тъй като P - стойност е по-голяма от 0,05 тя е статистически значима при 95,0% от зависимите. Следователно , трябва да се премахване x от модела.

Извършено е изчистване на незначимите коефициенти b_1 , $b_1 \cdot b_2$ и b_2^2 . Полуени са следните резултати:

Таблица 4 Независимите променливи след корекция

		<i>Standard</i> <i>d</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	2023.33	86.8014	23.3099	0.0000
X2	609.0	61.3779	9.92215	0.0001
X1^2	-439.333	106.31	-4.13259	0.0061

От таблицата се вижда, че няма незначими коефициенти, тъй като стойността на P-value е значително по малка от 0.05 .

Таблица 5 Анализ на дисперсията след корекция

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	2.61131E6	2	1.30566E6	57.76	0.0001
Residual	135621.	6	22603.4		
Total (Corr.)	2.74693E6	8			

R-squared = 95.0628 %

R-squared (adjusted for d.f.) = 93.4171%

Standard Error of Est. = 150.344

Mean absolute error = 108.963

Durbin-Watson statistic = 2.4985 (P=0.6466)

Lag 1 residual autocorrelation = -0.370935

Крайният резултат показва множествена линейна регресия , описваща връзката между Z и 2 независими променливи . Тъй като P value в таблицата ANOVA е по-малко от 0.05 , има статистически значима връзка между променливите на 95,0% .Статистиката R- Squared показва, че моделът обяснява 95,0628% на променливостта в Z .

Графика 3 Зависимата променлива Z след корекция

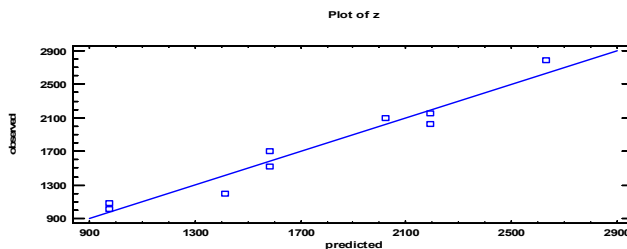
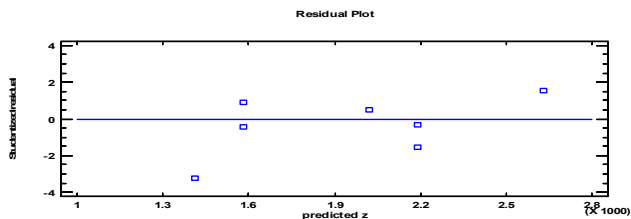


Таблица 6 Необичайни остатъци след корекция

		<i>Predicted</i>		<i>Studentized</i>
<i>Row</i>	<i>Y</i>	<i>Y</i>	<i>Residual</i>	<i>Residual</i>
8	1200.0	1414.33	-214.333	-3.24

В таблицата в този случай има един необичаен остатък и той е по-голямо от 3. Взема се под внимание и ако се налага се премахват от модела, но в този случай няма да окаже влияние .

Графика 4 Необичайни остатъци след корекция



Прилагаме

$$(2) \quad P[F; Df_M; Df_R] = 0.0001,$$

от което следва че моделът е адекватен.

Прилагаме с коригираните данни:

$$(1) \quad Y = 2023.33 + 609.0 \cdot X_2 - 439.333 \cdot X_1^2$$

ИЗВОДИ

Върху разрушаващата сила влияние оказва:

- силата на тока с квадратичната си част в интервала $80 \div 120$ A ;
- големината на налягането с линейната си част в интервала $1900 \div 2100$ kg/f.

От експерименталните данни виждаме че:

- най-високи показания имаме при експеримент 7,

100 A 2100kg/f 2800 2750 2600 2900 2850 2780

защото токът е достатъчно висок за да се разтопи метала, но и налягането е достатъчно високо за да се получи дефузия без разтичане.

- най-ниски са показанията при експеримент 4,

80 A 1900kg/f 800 1100 950 1050 1200 1020

защото токът не е достатъчно висок за да се получи необходимото разтапяне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вътрешнофирменна конструктивна документация.
- [2]. Вътрешнофирменна технологична документация.
- [3]. Процедури.
- [4]. Инструкции.
- [5]. Statgraphic.

Законтакти:

инж. Миглена Юлиянова Ангелова, К-м; miglena.angelova@ymail.com

доц. д-р Т. Тодоров; ttodorov@uni-ruse.bg

„Гуру” на Качеството - Проф. д-р Юрий Павлович Адлер

Автор: Веселина Иванова,
Научен ръководител: доц. д-р Тодор Тодоров

Abstract: Professor Yuri Pavlovich Adler is a world-renowned scientist in the field of applied statistics, design of experiments and quality management. He was a member of many international associations quality and Vice President of the European Society for Quality.

Key words: Quality Management, Quality Control, Russian "guru" in quality.



Биография

Проф. д-р Юрий Павлович Адлер е роден на 05.12.1937г. Израстнал е по време на втората световна война. Местели са се непрекъснато със семейството му от гр. Горки (Нижни Новгород), Молотов (Перм) и Свердловск (Екатеринбург), докато към края на войната се завръщат в Москва.

Баща му го научава да играе шах, което занимание по-късно това става неговата любима игра. Започва да се развива в тази насока, но родителите му го съветват да остави шаха, защото не е това, което му трябва, като развитие.

Образование

Тази загуба на време, както твърдят родителите на Адлер му коства загубата на избор в престижните университети и в този, който той иска - филологическия факултет на Московския държавен университет. Затова единствения избор бил Московския институт на цветни метали и злато на името на М. И. Калинин, който бил близо до тях. Приемат го в университета с 29 от 30 възможни точки. Това, че до постъпването си в института Юрий Павлович посещава секцията по шах в техния район, много му помага за съсредоточаването и научаването на материала, тъй като за тази игра се иска много мислене и най-вече логика, на която той е свикнал и по този начин се справя с уроците, материалите и изпитите без проблем.

Студентският живот на проф. д-р Юрий Павлович Адлер е много бурен, но в третия семестър е отстранен като студент заради „академическа неуспеваемост”. Институтът докладвал на военните за отпадналите студенти, които веднага са получавали повиквателни за военна служба. Юрий Павлович подава молба до комсомолския комитет, която е удобрена и заминава като доброволец с комсомолските отряди за усвояване целините на Казахстан. Той бил единствения доброволец за заминаването си там.

След като ректорът на института възобновява студентските му права, но със загуба на една учебна година, Юрий Павлович никога повече не получава слаби оценки. Той винаги бил пръв по успех в целия поток и завършва института като един от отличниците и бил разпределен в “ГИРЕДМЕТ”, където работи 10 години.

Юрий Павлович Адлер се жени се през април 1959 г. За Галина Андреевна, с която се е запознал 4 години по-рано. Галина Андреевна била студентка в същия институт.

Кариера

Юрий Павлович разказва следния случай от своя живот, който се оказва преломен за него *"Во время дипломной практики, которая проходила в Гиредмете, я долго искал подходящий метод обработки данных своих исследований. Как-то раз Александр Яковлевич сказал мне: "Там, за печью выращивания монокристаллов по Чохральскому в лаборатории германия, сидит один чудак. Он новенький. Все говорит про статистику, но его никто не понимает". Я, конечно, сразу туда. Первый мой вопрос был: "Как правильно вычислять дисперсии статистически зависимых случайных величин?"*

"Чудак" - позже я узнал, что его зовут Василий Васильевич Налимов - ответил на мой вопрос, а потом сказал, что в этом огромном институте я единственный человек, который знает слово "дисперсия". Поэтому он приглашает меня на работу в свою лабораторию, вакансии в которой открываются с 1 сентября, то есть как раз тогда, когда я закончу институт. Это решило мою судьбу."

Интересни факти

1. Водещ консултант в експертен център на Камарата на износителите 1991-1992;
2. Водещ изследовател на съвместното предприятие INTERQUADRO, Катедра Математически развитие 1989 -1990;
3. Ръководител на катедрата по "Статистически методи в управлението и контрола на качеството" в Московския институт по "Специализирано обучение на ръководители и специалисти от Министерството на химическата промишленост на СССР" 1970-1989;
4. Старши научен сътрудник в Министерството на проектиране на експерименти и статистически методи за контрол на качеството в държавата, научно-изследователски и проектантски институт за редки метали и полупроводникова индустрия 1960 -1970 г.

Членство в професионални организации

- Член на Руската академия на проблеми с качеството от 1996 г. насам.
Чуждестранен член на Американското общество за качество през 2000 г.
Член на Съвета на директорите на Международния съюз на качеството от 2000 г. и председател на Гилдията от 2009 г.
Чуждестранен член на Украинската асоциация за качество от 1990 г.
Чуждестранен член на Сръбската асоциация за качество от 1998 г. насам.
Член на Европейския бизнес и индустриални Статистика (ENBIS) от 2002 г.
Главен редактор на списание "Управление на качеството", член на редакционните съвети на няколко списания в Русия, Казахстан, Сърбия и Украйна.

Експерт в следните области

Разработване и въвеждане на съвременни методи за управление на качество

Приложна статистика и планиране на експерименти

Публикации

Автор на повече от 50 книги, 500 статии и 35 преводни издания от английски, немски и български.

Научни интереси

Управление на качеството

Съвременни методи за подобряване на процесите и системите за управление

Системи за статистическо мислене

Планиране и организация на експеримента

Международната стандартизация на системи за управление на качеството.

Награди, почести и други постижения

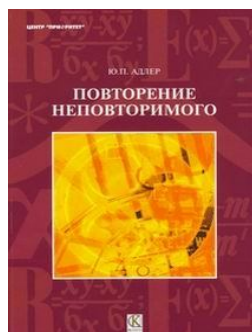
Орден за заслуги в областта на металургията -2007 г.

Медал "Постигновения в областта на химическата промишленост на СССР" - 1967 г.

Почетен медал на името на Илин "За повишаване на качеството културата на обслужване", ФОС - 2008 г.

Медал "Ветеран на труда" -1987 г.

Медал "По отношение на услугите в аналитичния контрол", 2007 г.

Книгите които е написал са:**Членство в руски и чуждестранни академии и други обществени организации:**

Член на Руското дружество за качеството

Президентът на Международния съюз на специалисти по качеството.

Сеньор на Американското общество за качество.

Чуждестранен член на Сръбското общество за качество.

Чуждестранен член на Израелското общество за качество.

Почетен доктор на Русенския университет (България - Русе).

Той е ръководил над 20 докторски дисертации. Юрий Павлович Адлер е основател и ръководител на научн-практическото училище "Управление на качеството". Познава всички елитни и известни учени, които се занимават с качеството на метали и сплави по цял свят. Това се дължи на непрекъснатите му пътувания по международни конференции в различните страни. Десетки компании от Европа, Америка и Източна Европа ползват неговата консултантска помощ. Освен учен със световна известност, проф. Адлер е международно признат консултант по мениджмънт на качеството, статистически методи и планиране на експеримента, компютърни системи за обработка и анализ на данни.

България е една от страните, която може да се похвали с присъствието на проф. д-р Юрий Павлович Адлер, която е посетил многократно. Поводът за последното приятно посещение е наградата му от Русенския университет за Почетен доктор на висшето училище с решение на Академичния съвет от 15 юли 2008г. Предложението за удостояването му с високото почетно звание беше внесено от дългогодишния и най-близък сътрудник на проф. Юрий Павлович в Русе проф.Атанас Митков, бивш ректор и също почетен доктор на Русенския университет. На 13.05.09 с тържествена церемония се връчи на проф. д-р Юрий Павлович Адлер диплома за DOCTOR HONORIS CAUSA в Русенския университет.





Връзката на DHC проф. д-р Адлер с Русенското висше училище датира от началото на 70-те години на 20 век, когато под негово ръководство се създава школа по статистически методи и планиране на експеримента, завоювала в годините национално и международно признание. Тя е свързана с имената на проф. д-р Атанас Митков, доц. д-р Тодор Тодоров, проф. д-н Георги Тасев, покойните вече проф. д-н Георги Тончев, доц. д-р Димитър Минков, проф. Гатю Гатев и други.

Джоузеф Джуран - „Гуру” на качеството

Автор: Деница Филева

Научен ръководител: доц. Тодор Тодоров

Abstract: *Joseph M. Juran has led a life of success and accomplishments. Using his intelligence and dedication Juran changed himself from a poor Romanian immigrant into a world renowned quality control expert. He has had a varied successful career as an engineer, as a writer, as an educator and as a consultant. Juran has been called the “father” of quality, a quality “guru” and the man who “taught quality to the Japanese.”*

Key words: *Quality Management, Quality Control, Western Electric, Annual Quality Improvement*

ВЪВЕДЕНИЕ



Мен навсякъде ме считат като един от главните архитекти на световната революция в областта на мениджмънта, с цел постигане на качество.

Качеството по своята същност е съвкупност от свойства и белези на даден продукт, процес или услуга, които определят съответствието им с предварително зададени изисквания или задоволяват определени потребности. Управлението на качеството е системен целенасочен процес на установяване разликите между действително постигнатите и желаните резултати, на базата на определени стандарти и критерии, анализ на причините, които влияят върху тези разлики и предприемане на действия за промяна и подобрения в структурата и процесите, които да доведат до намаляването на тези разлики до минимум. Една от основните фигури в управлението на качеството е Джоузеф Мойсей Джуран.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Автобиография

Джоузеф Мойсей Джуран е водил живот с успехи и постижения. Използвайки своя интелект и отдаденост превръща себе си от един беден румънски емигрант в един от най-реномираните експерти в контрола на качеството. Той има успешна кариера като инженер, писател, учител и консултант. Джоузеф Джуран е наричан „бащата” на качеството, „гуру” на качеството, „човекът, който научи японците на качество”. Той е разширил философиите на качеството от техния първоначален произход до това което днес познаваме като тотален контрол на качеството.

Джоузеф Джуран е роден в Браила, Румъния през Декември 1904 г. Когато е бил 5 годишен, баща му напуска Румъния и отива в Щатите с цел да осигури по-добър живот на семейството си. Три години след напускането на Румъния бащата на Джоузеф е спестил достатъчно пари за да докара семейството си в Щатите. Вече 8 годишен Джоузеф Джуран се мести в Минесота. Той напуска Румъния с надежда за щастие. Техните надежди не се овенчават с успех и остават бедни дори след пристигането си в Щатите.

През младежките си години той е ненадминат в училището. Джуран е бил много над средния студент и прескача няколко нива в обучението си. Желанието му за усъвършенстване и знания му позволяват да стане първият от семейството си, който преследва по-високо образование. През 1920 г. той постъпва в университета в Минесота. През 1924 г. завършва университета в Минесота с бакалавърска степен по електроинженерство, след което за кратко време прекъсва образованието си и започва работа. По време на кризата неговите работни часове са съкратени и той използва свободното си време да посещава лекции в университета в Айова, откъдето получава докторска степен по право през 1936 г.

Джоузеф Джуран започва професионалната си кариера веднага след завършването си в университета в Минесота. През 1924 г. той започва да работи в „Western Electric“ в една от най-големите й фабрики „Hawthorne Works“, чието седалище е в Чикаго. Тя има над 40 000 работника и сложна инфраструктура, което представлява първото предизвикателство в управлението пред Джуран.

През 1926 г. по време на работата си Джуран получава изключително рядка възможност. По това време «пионери» от лабораториите в Бел създават проект, чиято цел е въвеждането на нови техники и инструменти в „Hawthorne Works“. Но за осъществяването на тази програма е необходимо провеждането на обучаваща за персонала програма. Джуран бил избран като един от двамата инженери, които да работят към обещаващия «Отдел по Статистика». Отделът по контрол на качеството е един от първите по рода си в страната.

Джуран продължава да се издига в „Western Electric“ и през 1937 г. става шеф на отдела по «Индустриално инженерство» с главен офис на фирмата в New York. Като шеф на този отдел една от главните му задачи е да обсъжда различните методи на управление на качеството с другите компании.

През Втората световна война, Джуран напуска за кратък период „Western Electric“. През това време той работи във Вашингтон като помощник администратор в отдела за отдаване на земи. Той и неговият екип работят в насока повишаване производителността и премахване на излишната бумажина при процеса на отдаване на земите. Правейки този процес по ефективен, Джуран и неговият екип съкращават времето за доставянето на стоки до задморските приятели на Съединените Щати.

Джуран свършва своята работа в отдела по «Отдаване на Земи» през 1945 г. От напускането му на „Western Electric“ са минали вече 4 години и Джуран решава да не се завръща на стария си пост и, че неговото истинско призвание е да се отдаде на изучаването на качеството на управлението.

През 1945 г. вече 40 годишен Джуран заема поста на Председател на Отдела по Административно Инженерство в Университета в Ню Йорк. Тази позиция се оказва недостатъчна да го държи зает и той започва своя собствена консултантска практика. Джуран работи като консултант за бизнеса и организации в 40 различни страни. Въпреки двете си работи той продължава да пише книги и да изнася лекции.

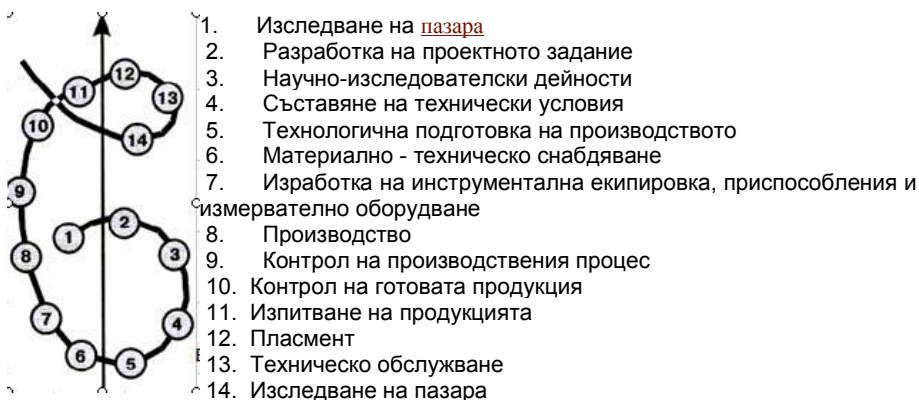
През 1950 г. Асоциацията на Японските Учени и Инженери кани Джуран да посети страната им. През 1954 г. той приема поканата и заминава за Япония, където провежда поредица от семинари пред ръководители от високо и средно ниво. Неговите лекции са приети толкова добре, че той е помолен да проведе допълнителни такива. След тяхното провеждане работата на Джуран се

разпространява из цяла Япония и много големи компании започват свои собствени тренировъчни програми за персонала.

През 1979 г. Джуран основава Джуранския институт, чиято първоначална цел е да осигури продължение на неговите идеи чрез видео програми. Видео сериите на Джуран за подобряването на качеството се оказват толкова успешни, че водят до това институтът да започне работа по още много програми.

Въпреки успешната си кариера като инженер, писател, учител и консултант, Джуран решава да сложи край на своята кариера през 1987 г. Той напуска поста си като управител на на Джуранския университет и през 1993 г. и 1994 г. провежда последните си лекции, след които се оттегля от публичната сцена и решава да отдаде остатъка от живота си изцяло на семейството си.

Много от трудовете на Джуран са публикувани в над 20 книги и стотици публикации. Селекция от неговите трудове е преведена на 17 различни езика. Той започва да пише професионално през 1928 г., когато написва памфлета озаглавен "Statistical Methods Applied to Manufacturing Problems". Този памфлет се превръща в основата на всеизвестната AT&T Statistical Quality Control Handbook, която се публикува и до днес. Една от най известните книги на Джуран е Quality Control Handbook. Оригиналът е публикуван през 1951 г. Една от най- известните му теории е теорията за „Спирала на Качеството“. Джоузеф Джуран разработва знаменитата "спирала на качеството" (спирала на Джуран) – пространствен модел, определящ основните стадии на непрекъснато развиващите се дейности по управление на качеството.



Концепция AQI (Annual Quality Improvement)

Джуран се явява автор на концепцията AQI – концепция за ежегодно усъвършенстване на качеството.

Той счита, че постоянното подобряване на качеството е свързано със streмежа на човек да установява нови рекорди.

Във философията на мениджмънта под непрекъснати подобрения се разбира смяната на политиката на стабилност с политиката на промени.

Главното внимание в концепцията AQI е насочено към стратегически решения, по - висока конкурентоспособност и дългосрочни резултати.

Основни принципи на AQI :

- Планиране от ръководството на подобрения на всички равнища и във всички области от дейността на организацията;

- Разработка на мероприятия за изключване и недопускане на грешки в областта на управлението на качеството;
- Преход от администриране към планомерно управление на цялата дейност в областта на качеството, включително и към усъвършенстване на административната дейност.

Необходими дейности AQI :

- Съставяне на ежегодни програми за подобряване на качеството;
- Разработка на методи за подобряване на качеството, неговото измерване и оценка;
- Обучение за използване на статистически методи и тяхното внедряване в практиката;
- Усъвършенстване организацията на работа в административната сфера;

Икономическия подход за осигуряване на качеството

Джуранин формулира основите на икономическия подход за осигуряване на качеството. В своя "Справочник по управление на качеството" той първи класифицира разходите за управление на качеството:

- Разходи за недопускане на дефекти;
- Разходи за оценка на качеството;
- Разходи, свързани с вътрешни пропуски;
- Разходи, свързани с външни пропуски.

10 етапа за подобряване на качеството

1. Формирайте осъзната потребност от качествена работа и създайте условия за подобряване на качеството.
2. Установете цели за постоянно усъвършенстване на дейността.
3. Създайте организация, която ще работи за достигане на целите, създавайки условия за откриване и решаване на проблемите;
4. Дайте възможност за обучение на всички сътрудници на организацията;
5. Реализирайте проекти за решаване на проблемите;
6. Информирайте сътрудниците за достигнатите подобрения;
7. Изразявайте признанието си на сътрудниците, допринесли най-много за подобряване на качеството.
8. Съобщавайте за резултатите.
9. Регистрирайте успехите.
10. Внедрявайте постиженията, които сте успели да постигнете в течение на годината благодарение на редовно функциониращи системи и процеси в организацията;

Пътна карта за планиране на качеството

1. Изяснете кои са вашите потребители.
2. Определете запитванията на вашите потребители.
3. Преведете тези запитвания на ваш език.
4. Разработете изделие или услуга, които ще ги удовлетворят.
5. Оптимизирайте свойствата на даденото изделие или услуга, така че да удовлетворите очакванията на потребителите.
6. Оптимизирайте свойствата на изделието или услугата така, че те да съответстват не само на очакванията на вашите потребители, но и вашите собствени изисквания.
7. Оптимизирайте свойствата на изделието или услугата, така че те да съответстват не само на изискванията на вашите потребители, но и вашите собствени изисквания.

8. Разработете процес на производство на това изделие или услуга.
9. Оптимизирайте този процес.
10. Убедете се, че този процес позволява да произведете нужните изделия или услуги при съществуващите условия на производство.
11. Превърнете този процес в конкретни операции.

Дефиниция за качество на Джуран

В книгата си "Quality Control Handbook" той заявява, че думата качество има две различни значения, които се произнасят по един и същи начин. Тези две значения предизвикали объркване поради това, че някои хора смятали, че се използва едно определение вместо другото.

Този пример е извадка директно от книгата: "Мениджърът на една банка не би подкрепил предложението за намаляване на загубите, защото това действие седи зад името "подобряване на качеството", а от негова гледна точка високото качество означава и високи разходи. Така неговите подчинени били принудени да преразгледат предложението като "подобряване на производителността", за да могат да получат необходимото одобрение.

Двете дефиниции за качество:

1. "Качество" означава тези характеристики на продукти, които отговарят на нуждите на клиентите и по този начин удовлетворяват клиентите. В този смисъл, качеството е ориентирана към доходите. Целта на такова високо качество е да се осигури по-голяма удовлетвореност на клиентите с цел повишаване на доходите. Въпреки това, за осигуряване на повече и / или по-добри характеристики на продукта обикновено се изисква инвестиция и по този начин обикновено включва повишаване на разходите. По-високото качество в този смисъл обикновено "струва повече".

2. "Качество" означава липса на грешки, грешки които биха довели до провали на пазара, необходимост от свършване на дадена работа отново и отново (преработване), недоволство и искове от страна на клиентите. В този смисъл качеството е ориентирано към разходите, и така по високото качество "струва по-малко".

Двете дефиниции за качество на Джуран

Дефиниция 1	Дефиниция 2
Характеристики на продукта които задоволяват нуждите на клиента	Липса на недостатъци

По-високото качество позволява на компаниите да:

Увеличат задоволството на клиентите
На правят продукта по продаван
Да бъдат конкурентноспособни
Да увеличат дяла си на пазара
Да си осигурят приходи
Да осигурят добра цена
Главния ефект е върху продажбите.

Така, по-високото качество струва повече

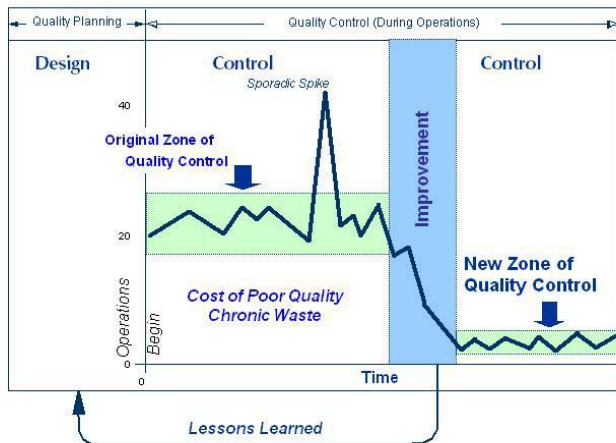
По-високото качество позволява на компаниите да:

Намалят броя на грешките
Намалят загубите
Намалят провала на пазара
Намалят недоволството на клиентите
Намалят броя на необходимите тестове/инспекции
Съкратят периода за пускане на нов продукт на пазара
Да повишат добива, капацитета
Главния ефект е върху разходите.

Така, по-високото качество струва по-

МАЛКО

THREE UNIVERSAL PROCESSES OF THE JURAN TRILOGY®

**Реализиране на качеството**

Джурман е вярвал, че за да може една компания да превърне целите си в реалност или да бъде постигнат резултат, това зависи изцяло от процеса на управления на тази компания. Когато целта на компанията е качество, тогава ръководството на фирмата трябва да се фокусира върху подобренieto на качеството. Съществуват три процеса, които комбинирани се наричат Трилогията на Джурман за качество. Те са: планиране, контрол и подобряване на качеството.

Трилогията на Джурман

Планиране на качеството

- Определяне на цели за качеството
- Определяне към кого е насочен продукта
- Определяне на нуждите на клиентите
- Разработване на качествата на продукта които да отговарят на нуждите на клиента
- Разработване на процеси, които могат да осигурят тези качества на продукта
- Създаване на контрола над процеса на осъществяване на идеите.

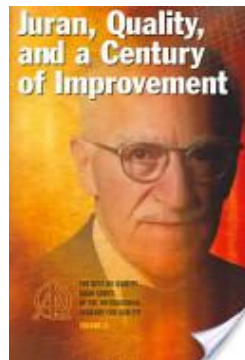
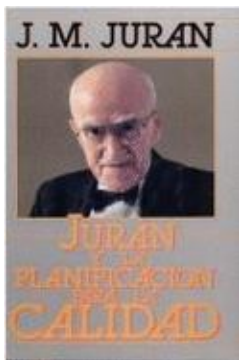
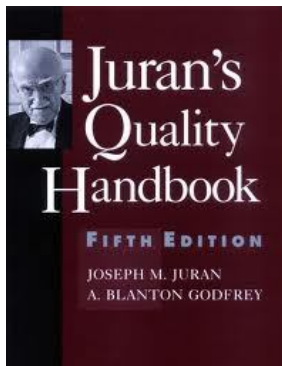
Контрол на качеството

- Оценка на действителната производителност
- Сравнение на действителната производителност със желаното качество
- Предприемане на действия при разминаване на желания ефект с действителния.

Подобряване на качеството

- Доказване на необходимостта
- Изграждане на инфраструктура
- Определяне на необходимите проекти за подобрене
- Създаване на екипи за работа върху проектите
- Осигуряване на тези екипи на ресурси и мотивация за да може:
 1. Да бъдат диагностицирани причините
 2. Стимулиране, предприемане на мерки

Част от концепцията AQI, “Спиралата на Джуран”, икономическият подход за осигуряване на качеството, пътната карта за планиране на качеството и др. са намерили място в книгите:



Награди и почести

Близко тридесет години след посещението си в Япония, император Хирохито връчва на Джуран най-висшата награда, която може да бъде връчена на чужденец, за заслугата му за развитието на контрола на качеството и затвърдяване приятелските отношения между Япония и Съединените щати.

Заклучение

По време на своята кариера Джойзеф М. Джуран е живял живот изпълнен с успехи и е постигнал големи успехи в сферата на контрола и управлението на качеството. Джуран е получил одобрението на много известни личности, сред които се нареждат имена като - Стийв Жобс, основател на Ейпъл, Питър Дракър, писател и теоретик в сферата на бизнеса и мениджмънта. Съществува цитат на Ногучи директор на Японската асоциация на учените и инженерите, който гласи "Д-р. Джуран е най-големия специалист по контрол на качеството в целия свят". Джуран на свое място никога не е търсил слава чрез работата си.

Докато съществува интерес към качеството, личност като Джоузеф Джуран никога няма да бъде забравена.

Литература

- [1]. "Joseph M. Juran." Skymark Management Resources. 2002. 9/21/02.
- [2]. www.skymark.com/resources/leaders/juran.asp
- [3]. Leixner, Erin. "Dr. Joseph M. Juran." 1997. 9/21/02.
- [4]. www.columbia.edu/cu/business/botline/fall97/9_25/juran.html
- [5]. "Joseph M. Juran." Department of Trade and Industry. 2002. 9/21/02.

За контакти:

Деница Филева, Русенски университет, 1 курс, 63 МКМ, e-mail: romanova.fileva@abv.bg

Карл Пирсън – основоположник на „новата” статистика

Автор: Радена Раднева

Научен ръководител: доц. Тодор Тодоров

Abstract: *Joseph M. Juran has led a life of success and accomplishments. Using his intelligence and dedication Juran changed himself from a poor Romanian immigrant into a world renowned quality control expert. He has had a varied successful career as an engineer, as a writer, as an educator and as a consultant. Juran has been called the “father” of quality, a quality “guru” and the man who “taught quality to the Japanese.”*

Key words: *Quality Management, Quality Control, Western Electric, Annual Quality Improvement*

ВЪВЕДЕНИЕ



БИОГРАФИЯ

Майката на Пирсън е Фани Смит, а неговият баща - Уилям Пирсън. И двамата са от Йоркширски семейства. Уилям е човек с голяма способност, с изключителна психическа и физическа енергия и силен интерес в историческите изследвания. Всички тези положителни качества са присъщи и на синът му.

Карл е второто дете на Уилям и Фани. При раждането му те го кръщават Carl и го наричат така до двадесет и третата му годишнина, когато той променя начина на изписването на името си на Karl.

ОБРАЗОВАНИЕ

Карл учи в домашни условия до навършването на девет години, а след това е изпратен в „Колежанско училище” в Лондон. Учи там до шестнадесет годишнината си, но след това е принуден да напусне, поради заболяване. Тогава е нает частен учител, който да го обучава в дома му и през 1875 г. Пирсън става втори в прегледите на „Кеймбридж” и печели стипендия за „Кралския колеж”.

В „Кеймбридж” той е обучаван от Стоукс, Максвел, Кейли и Бърнард. Учителят му е може би най-известният сред всички в „Кеймбридж” - именно Раут. Говорейки за своите бакалавърски години, Карл казва:

“В „Кеймбридж” учих математика при Раут, Стоукс, Кейли и Кларк Максвел, но четях статиите на Спиноза. Имаше удоволствие в приятелствата, имаше удоволствие в битките, имаше удоволствие в обучението на учителите, имаше удоволствие в търсене на нови светлини в областта на математиката, както и на философията и религията.”

Това са дни на огромно щастие за Пирсън.

Както той показва в тези цитати, следването му в „Кеймбридж” е необичайно. Той чете Гюте, Данте и Русо, чете и за историята на религиозната мисъл и се радва да обсъжда със състуденти моралната философия.

Пирсън никога не би приел да бъде наставяван и това става ясно по време на студентските му години в „Кеймбридж”. По това време лекциите по богословие и обслужването на параклиса са задължителни. Той е дълбоко заинтересован от религията, но не намира смисъл в задължителния характер на тези дейности. Твърди, че университетът може да съществува успешно и с промяна в регламента, така че присъствието свързано с тези дейности да не е задължително. Тази негова „битка” е спечелена, макар и с малко подкрепа от баща му, относно въпроса за обслужването на параклиса. След постигането на целта си, той продължава да

посещава тези занятия и това учудва много от авторитетните персони в университета, но за Карл имало огромна разлика между световите на задължителното и на това, което правим по собствена инициатива.

Той завършва университета "Кеймбридж" през 1879 г. като „Трети Каубой“ в „Математическия Трипос“ (което означава, че той се нарежда на трето място сред тези, които печелят степен първи клас). След това той пътува до Германия, за да започне обучение в университета в Хайделберг. Там учи физика под ръководството на Г.Х. Куинк и метафизика при Куно Фишер. След това заминава за университета в Берлин, където посещава лекциите на известния физиолог Емил дю Боа-Реймон по дарвинизъм (Емил е брат на Паул дю Бройс-Реймънд, математик). Други предмети, които учи в Берлин са например римско право, преподавано от Брунс и Момзен, както и средновековна немска литература от шестнадесети век и социализъм. Пирсън е силно повлиян от курсовете, които посещава в този момент и става експерт по немска литература, поради което е предложен на длъжност в германския отдел на университета "Кеймбридж".

Първата му книга "The New Werther" е публикувана през 1880 г. В нея Пирсън дава ясна индикация за това, защо изучава толкова много различни области на науката.

Той казва: *"Хуквам от науката към философията, и от философията към нашите стари приятели - поетите, и след това, поизморен от твърде много идеализъм, аз обичам да се завръщам практически в науката. Опитвали ли сте се да си представите всичко, което съществува в света, което си струва да се знае - че нито един обект във Вселената не е недостъпен за проучване? Гигантите на литературата, тайните на тримерното пространство, опитите на Болцман и Крукс да проникнат в „лабораторията“ на Природата, Квантовата теория на Вселената и най-новите открития в ембриологията, със своите прекрасни теории за развитието на живота – това е една необятност отвъд нашето разбиране! ... Човечеството изглежда сякаш е на ръба на ново и знаменито откритие. Каквото е направил Нютон да се опростят планетарните движения, сега трябва да се направи, за да се обединят в едно цяло различните изолирани теории на математическата физика."*

Въпреки чувствата, които описва в този цитат, Пирсън решава да учи право, така че той може, като баща си, да се впише в адвокатската колегия.

Това наистина се случва през 1882 г., но той никога не започва да практикува право. През 1882 -1884 г. изнася лекции из Лондон по широк кръг от теми, като например немския социален живот, влиянието на Мартин Лутер и исторически теми. Той също така пише есета, статии и ревьюта за заместващи преподаватели по математика в „Кралския колеж“ и „Университетския колеж“ в Лондон.

КАРИЕРА

След като бива назначен за председател на секция „Приложна математика“ през 1885 г. Като професор Голдсмит, Пирсън прекарва по-голямата част от кариерата си в „Университетския колеж“ в Лондон. В периода 1884 г. - 1890 г. Пирсън има висока продуктивност в писането. Колкото добре чете лекции по статика, динамика и механика, толкова добре и завършва недовършения първи том на Клифорд „Лидер в здравия разум на точните науки“ (публикуван през 1885 г.), първия том на Тодхънтър „Историята на Теория на еластичността“. Започва да работи върху втория том, който почти не е започнат и пише много статии по приложна математика. Изнася доклад за етиката на свободната мисъл и се ангажира с изследвания по редица исторически теми, като например развитието на западното християнство.

През 1885 г. той е член-основател на смесен клуб, посветен на обсъждането на ролята на мъжете и жените в обществото. В срещите на клуба, той среща Мария Шарп, която по-късно става негова съпруга. Брактът им е през 1890 г. Раждат им се три деца; Егон Пирсън (роден 1895 г.), който следвал професията на баща си и двете му дъщери - Сигрид Лоетита, която е три години по-възрастна от Егон и Хелга Шарп, която е три години по – млада.

НАУЧНИ ОТКРИТИЯ

Пирсън е известен, като един от основателите на статистиката.

Две са събитията, които променят хода на кариерата му. Първото е публикуваната от Галтон книга „Природно наследство“ през 1889 г. Второто е назначаването на Уелдън като професор по зоология към „Университетския колеж“ през 1890 г.

От 1893 -1912 г. Карл пише 18 статии, съдържащи най-ценните му работи. Тези документи съдържат информация за регресионен анализ, коефициент на корелация и включва² квадрат тест за статистическа значимост. Чрез неговия хи квадрат тест се прави опит да се премахне нормалното разпределение от централната му позиция.

Книгата му „Граматиката на науките“ (1892 г.) е забележителна с това, че описва някои от идеите на теорията на относителността. Той е широкообхватен и се опитва да разшири влиянието на науката във всички аспекти. Пирсън измисля терминът "стандартно отклонение" през 1893 година. Работата му е повлияна от работата на Едгуърт, докато той от своя страна влияе на тази на Юле .

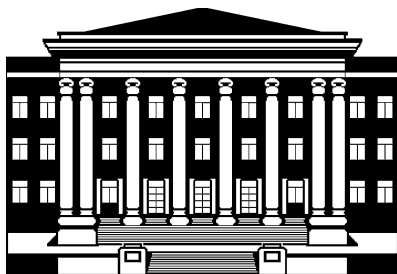
Пирсън, Уелдън и Галтон са основатели на статистическия вестник „Биометрика“. Това е така, защото той е представен на хартиен носител на Кралското дружество, на което Карл е избран за научен сътрудник през 1896 г. и получава медал на името на Дарвин. Първият том се появява през октомври 1901 г. с редактор Пирсън - роля която той продължава да изпълнява до смъртта си – 35 години по-късно.

От около 1906 г. Пирсън влага големи усилия в създаването на следдипломен център. Той е първият професор по Евгеника.

Мария, съпругата на Пиърсън, умира през 1928 г. и следващата година той се жени повторно за Маргарет Виктория Чайлд, негова колежка в отдела. Пирсън подава оставка от поста си през лятото на 1933 г. и „Университетският Колеж“ решава да раздели на две управлението си. Синът му - Егон Пирсън става ръководител на Катедрата по статистика, а Фишер е назначен на поста на Карл Пирсън, за да може последният да заеме поста си като ръководител на управлението на Евгениката.

Карл Пирсън има изключително голям принос в развитието на статистиката. Смята се, че благодарение на него, тя е станала истинска наука.

**РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
“АНГЕЛ КЪНЧЕВ”**



СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ СНС'15

П О К А Н А

**Русе, ул. "Студентска" 8
Русенски университет
“Ангел Кънчев”**

Факултет „Машинно-технологичен“

**СБОРНИК ДОКЛАДИ
на
СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС'14**

Под общата редакция на:
доц. д-р Стоян Стоянов

Отговорен редактор:
проф. д-р Ангел Смикаров

Народност българска
Първо издание

Формат: А5
Коли: 8
Тираж: 25 бр.

ISSN 1311-3321

ИЗДАТЕЛСКИ ЦЕНТЪР
на Русенския университет “Ангел Кънчев”