

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’10

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ СЕСИИ – СНС’10

PROCEEDINGS

of

the SCIENTIFIC STUDENT SESSION – SSS’10

Русе
Ruse
2010

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’10

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ СЕСИИ – СНС’10

PROCEEDINGS

of

the SCIENTIFIC STUDENT SESSION – SSS’10

Русе
Ruse
2010

Сборникът включва докладите, изнесени на студентската научна сесия **СНС'10**, 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 (РУ)** с цел да се предостави възможност на студенти и докторанти да популяризират основните резултати от своята учебно-изследователска работа и да обменят опит.

- ♦ **ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:**

- **Съпредседатели:**

- проф. д.т.н. Христо Белоев – РЕКТОР на РУ
 - Иван Калинов – ПРЕДСЕДАТЕЛ на СС

- **Научни секретари:**

- доц. д-р Ангел Смикаров – Заместник-ректор на РУ
 - ASmrikarov@uni-ruse.bg
 - 082-888 249
 - Радослав Линов – Заместник-председател на СС
 - R.Linov@abv.bg
 - 082-888 390

- **Членове:**

- Факултет „Аграрно индустриален”**

- доц. д-р Чавдар Везилов
 - vezirov@uni-ruse.bg
 - 082-888 442
 - Цветелина Василева
 - cvete@abv.bg

- Факултет „Машинно технологичен”**

- доц. д-р Стоян Стоянов
 - sgstoyanov@uni-ruse.bg
 - 082-888 572
 - Зорница Иванова
 - zori_doli@abv.bg

- Факултет „Електротехника, електроника, автоматика”**

- доц. д-р Русин Цонев
 - rtzonev@uni-ruse.bg
 - 082-888 379
 - Надя Антонова
 - antonowa14@abv.bg

Факултет „Транспортен”

доц. д-р Валентин Иванов
vdivanov@uni-ruse.bg
082-888 373
Иван Калинов
i.kalinov@abv.bg

Факултет “Бизнес и мениджмънт”

доц. д-р Юлиана Попова
jppopova@uni-ruse.bg
082-888 813
Йордан Петров
yordan.petroff@gmail.com

Факултет „Юридически”

ст.ас. Боряна Милкова
b.milkova@mail.bg
082 84 52 81
Миглена Маринова
megs90@abv.bg

Факултет „Природни науки и образование”

доц. д-р Петър Сигалов
sigalov@uni-ruse.bg
082-888-754
Благовест Николов
blago_nikolov_86@abv.bg

Факултет „Обществено здраве”

гл.ас. д-р Стефан Янев
jane6_bg@yahoo.com
тел. 082-821 883
Александър Атанасов
raceface@abv.bg

Филиал Разград

гл.ас. д-р Цветан Димитров
tz_dimitrow@abv.bg
0887-631 645
Деница Бонева
deni4ka_boneva@abv.bg

Филиал Силистра

гл.ас. Галина Лечева
lina_acad.bg@abv.bg
0897-912 702
Александър Господинов
lordsweet@mail.bg

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

1	Статичен силов анализ на трикоординатна измервателна глава.....	6
	автор: Виктория Карачорова научен ръководител: гл.ас. Димитър Димитров	
2	Разработване в CAD/CAM среда на инструментална екипировка за електронни изделия за навигация на автомобилопоток	11
	автор: Сабри Туна научен ръководител: гл.ас. Иво Атанасов	
3	Проектиране на кофи за изкопни дейности с CAD системата SolidWorks	16
	автор: Николай Станков – докторант	
4	Получаване на еднослойно TiN покритие върху магнезиева сплав	22
	автор: Емине Ахмедова научен ръководител: д-р инж. Ваня Захаријева	
5	Web базирано ръководство за упражнение по кристалография	28
	автор: Светлана Джурова научен ръководител: доц. д-р Първолета Дочева	
6	Сравнителен анализ на методи за избор на материали	33
	автори: Мариета Станоева Научен ръководител: доц. д-р Росен Радев	
7	Влияние на повърхностната комбинирана обработка върху корозионното поведение на стомана 4X5МФС	40
	автор: Цветан Ранделов научен ръководител: доц. д-р Диана Цанева	
8	Структура и свойства на многослойни покрития Cr-N/Cr-C/Cr, отложени върху стомана 9XC.....	47
	автор: Милен Христов научен ръководител: ас. маг. инж. Мариана Илиева	

Статичен силов анализ на трикоординатна измервателна глава

автор: Виктория Карачорова
научен ръководител: гл. ас. инж. Димитър Димитров

Abstract: Force distribution model of a 3D touch probe is developed. Static analysis of forces to determine the minimum measurement effort is made. It also determined that there is a reference between the size of the measurement effort and inclination of the bases.

Key words: 3D touch probe, coordinate measurement

ВЪВЕДЕНИЕ

В условията на съвременното машиностроене в редица случаи се оказва удачно, а в някои случаи е и единствена възможност използването на металоурежещата машина с цифрово-програмно управление (ЦПУ) като координатно-измервателна. За целта се създава измервателна система, включваща металоурежещата машина с ЦПУ, трикоординатна измервателна глава (ТИГ) и NC-измервателни програми. Така създадената измервателна система разширява значително технологичните възможности на обработващите машини с ЦПУ за измерване на прости и сложни повърхнини на детайли, настройване на режещите инструменти и автоматична диагностика на геометричната точност на машината.

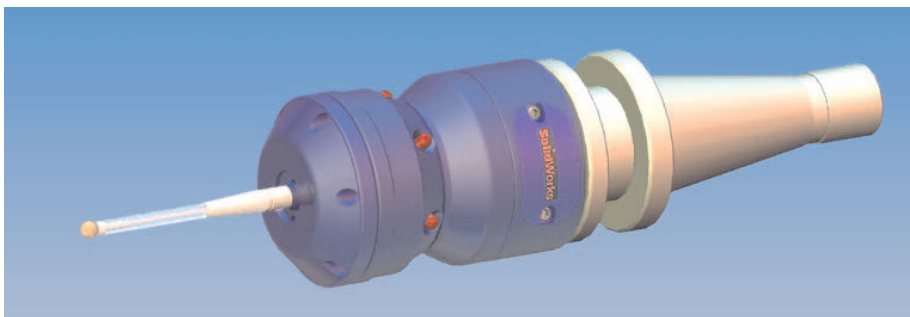
В тази система трикоординатната измервателна глава изпълнява функциите на датчик, имащ за цел да изработи сигнал при докосване на измервателния накрайник с измерваната повърхнина.

На фиг.1 е показано едно от възможните приложения на ТИГ, когато чрез координатни измервания се контролират повърхнини на обработван детайл.

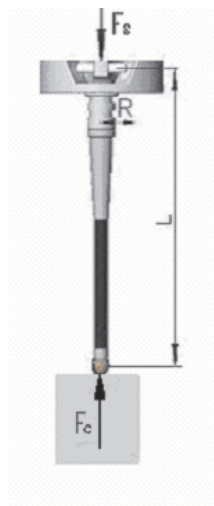
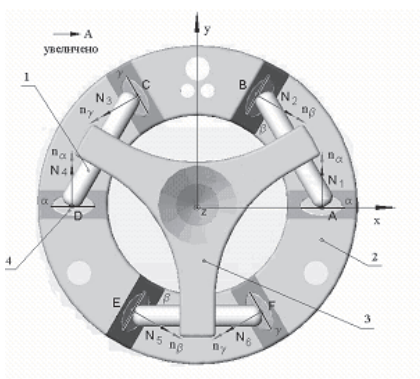


Фиг. 1 Измерване на повърхнини от детайл с ТИГ

На фиг.2 е показана конструкция на ТИГ, разработена от колектив към лабораторията по обработване на детайли на машини с ЦПУ при РУ"А. Кънчев".



Фиг. 2 Нова конструкция ТИГ, разработена в РУ"Ангел Кънчев"



Фиг. 3: Схема и силов модел на новата конструкция ТИГ в състояние „Измерване“

На фиг.3 са представени основните детайли на ТИГ- базовият и подвижният, като към последния се закрепя накрайника с опипвача.

Базовият детайл (фиг. 3, поз. 2) има форма на къса цилиндрична втулка (гривна) и е неподвижно закрепен към корпуса. Към него са сглобени двойки къси, цилиндрични ролки (фиг. 3, поз. 4). Те оформят с челата си наклонени стени на призматични канали.

Към подвижния детайл, с форма на трилъчева звезда (фиг. 3, поз. 1), са сглобени три тангенциално разположени иглени ролки (фиг. 3, поз. 3). Челата им са със сферична форма. Размерите и разположението на двата детайла, на ролките и на иглите са така подбрани, че между тях да се получи контакт - базиране на подвижния детайл чрез сферичните чела на иглите към неподвижния детайл по равнинните чела на ролките в шест точки, равномерно разположени по окръжност през 60° . Получените базови точки същевременно изпълняват ролята и на нормално затворени, последователно свързани контакти в управляема електрическа верига. Тази ел. верига е свързана чрез интерфейса с ЦПУ на машината, а

предназначението ѝ е да генерира управляващ сигнал за регистриране на координата при измерване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Тъй като ТИГ е основен елемент в системата за координатни измервания върху машини с ЦПУ, то едно от най-важните изисквания към измервателната глава е тя да бъде възможно по-точна.

Установено е, че сумарната грешка на ТИГ е функция от проявлението на случайни и систематични грешки, които се формират при всеки от основните етапи на работното ѝ състояние:

1. "Готовност", при което осезателят е базиран във всичките шест точки и управляващата електрическа верига е затворена;

2. "Измерване", когато в резултат на допир с измерваната повърхнина осезателят извършва преместване, водещо до нарушаване на базирането в поне една от 6-те базови точки, съответно до прекъсване на управляващата електрическа верига и формиране на измервателен сигнал;

3. "Установяване", когато след измерване под въздействие на пружинната сила "Fs" осезателят извършва премествания за възстановяване на базирането във всички базови точки и се затваря управляващата електрическа верига.

След това осезателят отново е в положение "готовност" за следващо измерване.

За осигуряване на устойчиво базиране в състояние "Готовност" се прилага осева пружинна сила т.е. подвижният детайл се поддържа в базирано състояние към базовите точки от тази сила.

В случая е осигурено статично условие на равновесие на всички действащи сили и моменти.

Осъществяването на "Измерване" изисква да се приложи върху накрайника сила с посока, различна от $-Z$ и големина " F_c ", достатъчна за преодоляване на закрепващата осева пружинна сила " F_s " и силите на триене, които възникват между подвижния детайл и базовия в базовите точки.

За "Установяване" е необходимо осевата пружинна сила да е достатъчно голяма за да се преодолее силата на теглото на подвижния детайл и съпротивлението при триене с базовия. Следователно задаването на по-голяма осева сила би увеличило надеждността на установяването.

Но от друга страна увеличаването на пружинната сила има и негативно влияние, което води до увеличаване на зоната на нечувствителност (т.нар. мъртав ход) и намалява точността на ТИГ. Следователно решаването на този проблем поставя задачата за определяне на минимална осева сила, която е достатъчна за осигуряване на надеждно установяване. За целта е необходимо да се моделират и анализират основните състояния на ТИГ. В настоящия доклад се разглежда и анализира състояние "измерване". Тъй като моделът е сложен за решаването на задачата се въвеждат някои допускания:

- Разглежда се състояние (частен случай) на измерване, съответстващо на положение на ТИГ, при което силата на пружината и измервателната сила са съосни и срещуположни.

- Въвежда се правоъгълна координатна система, като ос X съвпада с контактни точки A и D , всички контактни точки лежат в равнината XY , а ос Z е по оста на накрайника.

- Спрямо така описаната механична система могат да се приложат принципите на статиката и условие за равновесие.

В случая координатите на допирните точки A, B, C, D, E и F (фиг.1) се определят чрез следните зависимости:

$$x_a = r, y_a = 0, z_a = 0$$

$$x_b = \frac{r}{2}, y_b = \frac{\sqrt{3}}{2}, z_b = 0$$

$$x_c = -\frac{r}{2}, y_c = \frac{\sqrt{3}}{2}r, z_c = 0$$

$$x_d = -r, y_d = 0, z_d = 0$$

$$x_e = -\frac{r}{2}, y_e = -\frac{\sqrt{3}}{2}r, z_e = 0$$

$$x_f = \frac{r}{2}, y_f = -\frac{\sqrt{3}}{2}r, z_f = 0$$

където:

- r - радиус на окръжността, върху която лежат допирните точки.

- Равнините са съответно: α, β и γ

Получени са директорни косинуси на нормалите към трите равнини, където δ е ъгъл между нормала и равнини xy (или равнина и $os z$).

$$\alpha \rightarrow n_\alpha (0, \cos \delta, \sin \delta)$$

$$\beta \rightarrow n_\beta \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \delta, -\frac{1}{2} \cos \delta, \sin \delta \right)$$

$$\gamma \rightarrow n_\gamma \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}, -\frac{1}{2} \cos \delta, \sin \delta \right)$$

Означава се с $P = F_s$ силата на пружината като тя действа обратно на посоката на $os z$.

Приема се, че има допирание във всички шест точки и че силите на триене имат граничните си стойности.

$$T_i = \mu_0 N_i \quad (1)$$

където:

N_i – нормална реакция в коя да е допирна точка, а всички N_i са равни

μ_0 – коефициент на триене при стремеж за плъзгане (покой)

Определят се нормалните реакции N_i ($i=1 \dots 6$) от условия за равновесие:

$$\sum Z_i = 0 \quad (2)$$

$$-P + 6N_i \sin \delta + 6T_i \cos \delta = 0 \quad (3)$$

$$N_i = \frac{P}{6(\sin \delta + \mu_0 \cos \delta)} \quad (4)$$

Вижда се, че нормалната реакция зависи от δ и μ_0 (при една и съща P). Тъй като чувствителността и точността на ТИГ зависи от силата на триене в контактните точки, а тя от нормалната реакция, естествено е да се определи при каква стойност на δ се получава най-малка нормална реакция.

От горния израз се вижда, че N_i е $\min$, когато знаменателят е $\max$.

$$(\sin \delta + \mu_0 \cos \delta) = 0 \quad (5)$$

$$\cos \delta - \mu_0 \sin \delta = 0 \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{\mu_0} \quad (6)$$

Следователно:

$$\delta = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\mu_0} \right) \quad (7)$$

$$(\sin \delta + \mu_0 \cos \delta)^n = 0 \quad (8)$$

$$N_{i_{\min}} = \frac{P}{6 \left(\sin \delta_1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1} \cos \delta_1 \right)} \quad (9)$$

$$N_{i_{\min}} = \frac{P \sin \delta_1}{6 (\sin^2 \delta_1 + \cos^2 \delta_1)} \quad (10)$$

$$N_{i_{\min}} = \frac{P \sin \delta_1}{6} \quad (11)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От изготвения силовия анализ следва, че ъгъла на наклонените площадки на базите трябва да е равен на ъгъла на триене, тогава ще имаме минимална сила. За да се определи големината на δ е необходимо да бъдат решени аналогични задачи за останалите частни случаи и работни състояния.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] RENISHAW, Touch-trigger probing technology Catalog, 2007;
- [2] Енчев М., Относно точността на автоматичното поднастройване при струговане, IV Международен конгрес по машиностроителни технологии, Варна, т.3, с.7-9, 2006;
- [3] Димитров Д., Г.Ненов, М.Енчев, "Система за координатни измервания", Известия на Съюза на учените – Русе, сер.1, т.4, 2002г.;
- [4] HEIDENHAIN, General Catalog, November, 2006;
- [5] BLUM, Probe Catalog, 2006;
- [6] Георгиев В., С. Салапатева, Изследване за активен контрол при струговане с ЦПУ като елемент на система за интелигентно компютърно управление, Известия на ТУ в Пловдив, том 11 "Технически науки". Пловдив, 2004.
- [7] Митев Р. Стратегии при мерене на обработени 3D повърхнини, AMTEX'05, ноември, Русе, 2005.

За контакти:

Виктория Карачорова, специалност "Индустриално инженерство", МТФ, Русенски университет "Ангел Кънчев", **тел.** 0899661259, **e-mail:** Vickie_best@abv.bg
 гл.ас.инж. Димитър Димитров, катедра "ТММРМ", Русенски университет "Ангел Кънчев", **тел.** 082888 653, **e-mail:** ddimitrov@uni-ruse.bg

Разработване в CAD/CAM среда на инструментална екипировка за електронни изделия за навигация на автомобилен поток

автор: Сабри Туна,
научен ръководител: гл.ас. инж. И. Атанасов

Резюме: Прилагайки CAD/CAM програмни системи е разработена инструментална екипировка за проектирано електронно устройство за навигация на автомобилен поток. Разработени са 3D модели на уникалните детайли: корпус и капак, в CAD среда SolidWorks 2007 EE, а също и съпроводителна конструкторска документация. За проектираните комбинирани щрипцови - горна и долна, са разработени автоматизирани управляващи програми за машини с ЦПУ в CAM среда FeatureCAM 2009.

Ключови думи: CAD/CAM Systems, SolidWorks, FeatureCAM, GPS/GPRS units.

ВЪВЕДЕНИЕ

Разработеното електронно устройство се състои от един GSM/GPRS модем и микропроцесор. С негова помощ се изчислява разстоянието до превозното средство чрез получената информация от спътниците, като се използва GPS технологията.

Информацията за разстоянието се прехвърля към централен сървър чрез използване на мобилни комуникационни технологии (GPRS). Потребителите получават тази информация чрез Интернет и могат да изготвят доклад.

В контролния панел на сървърът с помощта на софтуер са реализирани настройките на устройството (напр.:отчитане на периодична информация). Тези настройки могат да се изпращат на отдалечени устройства за достъп.

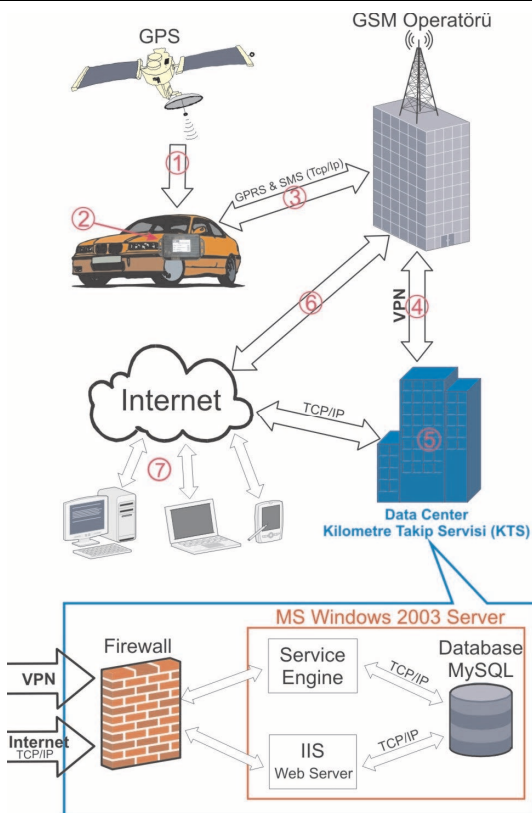
За разширение възможностите на системата е предвиден втори UART порт, който дава възможност за лесно прилагане на много допълнителни функции, като измерване на разхода на гориво, автоматично разпознаване на водача, измерване на температурата, аналогово и цифрово събиране на данни и др.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На **фиг.1.** е приложена функционалната блок-схема за работата на устройството, където:

- 1). GPS сигнали
- 2). Устройство разположено в автомобила:
 - GPS Receiver
 - GPRS Modem
- 3). Комуникация Автомобил - GSM оператор
 - GPRS - TCP/IP
 - SMS комуникация
- 4). VPN
- 5). Data center
- 6). SMS Web Service
- 7). Мониторинг

В конструкцията на предлаганото електронно устройство едни от най-сложните детайли са уникалния корпус и капак. Те се изработват от ABS – полимер, който е износостойчив и удачен за получаване чрез щрицоване.



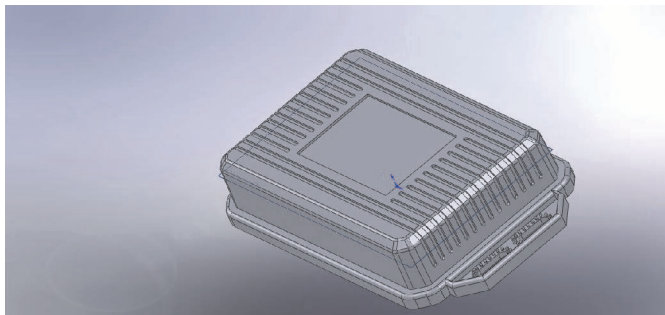
Фиг.1. Блок - схема за работата на електронното изделие

За целта е приет следният подход:

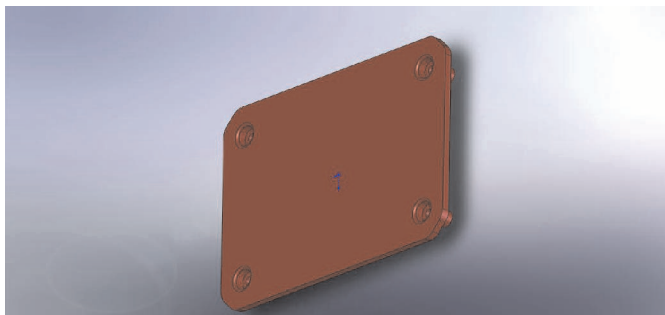
- **в среда CAD** – софтуерният пакет **SolidWorks 2007 EE**, дистрибутиран от Ф"ДиТра" – София и изучаващ се в РУ"А.Кънчев", **са разработени 3D модели** (фиг.2, фиг.3), съответно и конструктивната документация – **чертежи** (фиг.4) и сборна единица. На тяхна база е проектирана и комбинираната инструментална екипировка - шприцова плоча горна и долна (фиг.5, фиг.6);

- **в среда CAM** – софтуерният пакет **FeatureCAM 2009**, дистрибутиран от същата фирма, **са разработени управляващите програми** за механична обработка на комбинираните шприцови плочи върху пробивно-фрезова машина с ЦПУ PB 501.16 с ЦПУ тип CNC Fanuc 6M и вариант за обработка върху обработващ център MC032 с ЦПУ тип CNC FANUC 6M/B.

За разработените управляващи програми в среда FeatureCAM е приложен **метода AFR** (Automatic Feature Recognition), т.е. автоматизирано разпознаване на геометричните обекти с назначаване на подходящи технологични преходи за механичната обработка. В този режим е възможно и корекция от страна на технолога – програмист на реда на технологичните преходи, както и добавяне на нови такива.



Фиг.2. Краен 3D модел на детайл корпус в среда SolidWorks 2007 EE



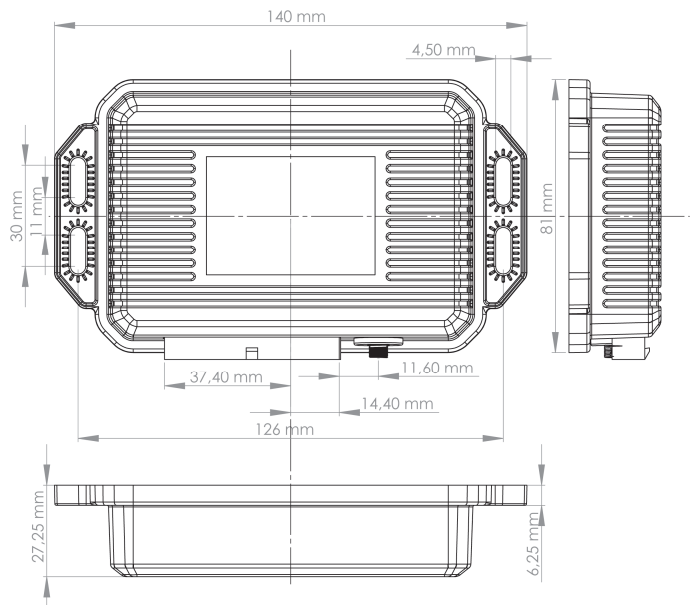
Фиг.3. Краен 3D модел на детайл капак в среда SolidWorks 2007 EE

Необходимите режещи инструменти се избират автоматизирано от **технологична база знания**, допълнително разработена за целта, която за конкретните потребителски нужди се актуализира. Режимите на рязане също се пресмятат автоматизирано, като могат да се ограничат по максимални стойности, в зависимост от текущото състояние на използваната металорежеща машина с ЦПУ.

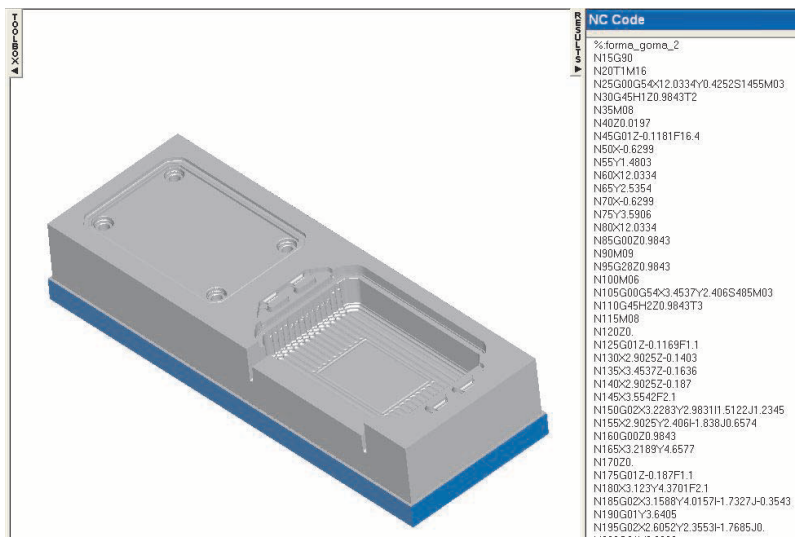
Също в среда FeatureCAM е извършено симулиране на траекторията на движение на режещия инструмент и е показан крайния резултат от обработвания модел на проектираните за целта комбинирани щрицови плочи – горна и долна (фиг.5, фиг.6).

Крайният резултат, след технологичното автоматизирано проектиране с приложение на FeatureCAM, е показан на **фиг.5** и **фиг.6**..., както и файлът с автоматизирано създадената NC програма е в текстов вид, който подлежи при нужда на редакционна обработка.

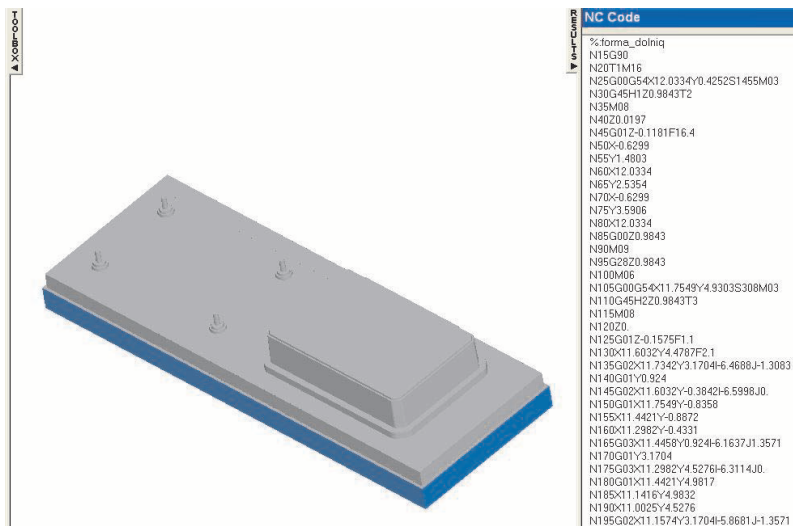
Технологът-програмист има възможност също и за симулация на механичната обработка в режим - проверка на траекторията на движение на инструмента (анализ за възможни колизии) – постъпково или на бърз режим на изпълнение и фотореалистична симулация с проверка на натоварването на супорта - графична визуализация в режим Show Tool Load.



Фиг.4. Работен чертеж на корпуса на електронното устройство



Фиг.5. Краен резултат от работата на CAM пакета FeatureCAM 2009 за обработката на комбинирана шприцова плоча горна



Фиг.6. Краен резултат от работата на CAM пакета FeatureCAM 2009 за обработката на комбинирана шприцова плоча долна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложението на CAD/CAM подхода има следните предимства:

- бързодействие и значително улесняване на конструктора и технолога;
- създаване на прегледна и структурирана конструкторска и технологична съпроводителна документация, съобразена с изискванията на стандартите;
- лесен и логичен диалог, съобразен с етапите на проектиране;
- боравене с концентрирани бази данни и знания, спомагащи за оптимално пресмятане на режими на рязане на база въведени характеристики на обработваем материал, интерактивен избор на режещ инструмент - пластина и държач, избор на рационални стратегии за механична обработка при формиране на преходите и др.;
- предпоставка за връзка с CAE, CAPP, CAQ и др.автоматизирани пакети (за инженерни пресмятания, планиране на производството, автоматизиран контрол на качеството и др) за реализиране на цялостния съвременен CIM подход.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И.Атанасов – Ръководство за упражнения, CAD/CAM системи + CD, +WEB, РУ”А.Кънчев” – Русе.
- [2] И.Атанасов и колектив – FeatureCAM 2009, част 1, учебно пособие, Технолога ЕООД, София, 2009

За контакти:

гл.ас. инж. Иво Атанасов, катедра “ТММРМ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. (082) 888 469, e-mail: iatanasov@uni-ruse.bg
 Сабри Туна, ф.N: 061156, специалност МТМ, редовно обучение, МТФ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. 0896 204 412, e-mail: sabrituna@hotmail.com

Проектиране на кофи за изкопни дейности с CAD системата SolidWorks

маг. инж. Николай Тодоров Станков

Abstract: 3D parametric models of digging buckets are developed. The characteristics associated with the design and the ability to create different part and assembly configurations are determined. The design of the parametric models corresponds to the buckets manufacturing technology and can be used from the specialized managing engineering data system.

Key words: Parametric modeling, 3D model, configurations.

ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на съвременните CAD системи, в това число SolidWorks, значително улеснява процеса на разработване на дадено изделие. Проектирането с тях се извършва в тримерното пространство. Системите дават възможност за промяна на определени параметри на проектираното изделие, корекция на размери, бързо и лесно съставяне на конструктивна документация, подобрена визуализация и много други предимства, като всичко това води до намаляване на времето за проектиране [1, 2, 3, 4].

Използвайки възможностите на CAD системата SolidWorks, съвместно с италианската фирма Mantovanibenne Srl., занимаваща се с производство на различна екипировка за багери, е разработена нова гама кофи тип NGP (New General Purpose – *Общо Предназначение*), предназначени за изкопни дейности. Тези кофи съставляват основна част от производствената номенклатура на фирмата [5].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Процесът на разработване на този тип кофи, включва следните етапи:

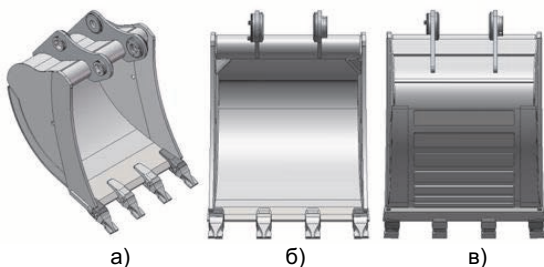
1. Класификация на кофите.

Направена е класификация на кофите тип NGP по класове, в зависимост от оперативното тегло на багера. В зависимост от класа си всяка кофа, се различава по форма, размери, обем и други специфични показатели. Класификацията е дадена в табл. 1.

Таблица 1. Класификация на кофите в зависимост от оперативното тегло на багера.

Оперативно тегло на багера, t	5 – 8	9 – 13	14 – 16	17 – 22	23 – 26	27 – 30
Клас на кофата	A	B	C	D	E	F

Оперативно тегло на багера, t	31 – 38	40 – 50	55 – 65	70 – 90	95 – 120	130 – 150
Клас на кофата	G	H	J	K	L	M

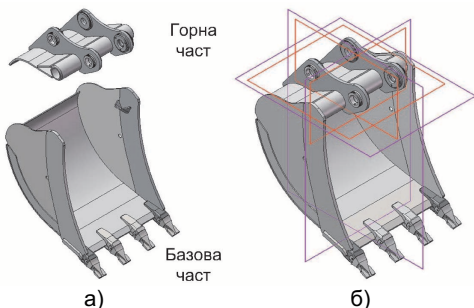


Фиг. 1. Тримерен модел на кофа клас D – а) общ вид, б) изглед отпред и в) изглед отзад.

багера, вид и брой на използваните зъби, други специфични особености. В зависимост от класа, ширината на кофите е от 600 mm до 1600 mm, а за по-големите класове стига и до 2000 mm. Базирането на рамото на багера се извършва в преходно звено, което се нарича захват. Видът и големината на зъбите зависи от класа на кофата и от изискванията на клиента, а броя им се определя от ширината на кофата.

Съществуват и специални конструкции кофи. Това са кофи с ширина от 400 mm до 500 mm, които представляват уникални разработки, както и кофи със специализирани захвати.

3. Параметрично моделиране на разработените тримерни модели на кофите, на отделните възли и детайли.



Фиг. 2. Тримерен модел на кофа – а) компоненти на модела и б) сглобен тримерен модел.

кофи, както и с възможността за използване на моделите от система за управление на инженерните данни. Според технологията за производство на кофи, първоначално се изработва горната част на кофата и захвата, след което последователно се заваряват всички останали детайли, като последни се поставят зъбите. Затова всеки тримерен модел на кофа е съставен от два компонента – горна част, включваща детайли от кофата и захвата, и базова част, включваща всички останали детайли и зъбите (фиг. 2.а).

В SolidWorks, горната и базовата част са сглобени чрез използване на трите стандартни равнини – Front, Top и Right (фиг. 2.б). За да може да се извърши това е необходимо и двата модела да имат разположена на едно и също място

2. Разработване на тримерни модели на кофите.

За всеки един от класовете е разработен тримерен модел на кофа. На фиг. 1 е показан тримерен модел на кофа клас D.

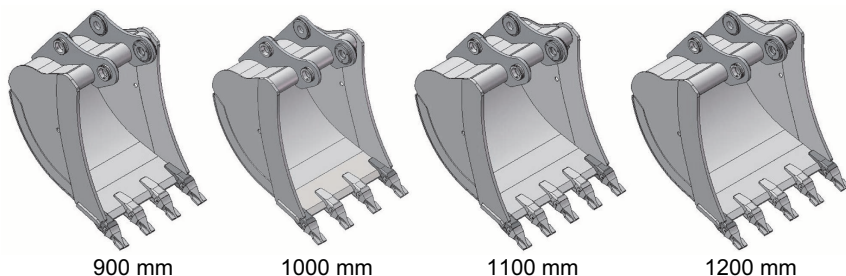
Кофите за изкопни дейности се характеризират със следните особености, които трябва да притежават и тримерните модели – ширина на кофата, начин на базиране на рамото на

- Параметрични модели на кофите;

Тримерният модел на кофите е параметрично моделиран и има различен брой конфигурации, съдържащи информация за ширината на кофата, вида на захвата, вида и броя на зъбите и други специфични особености.

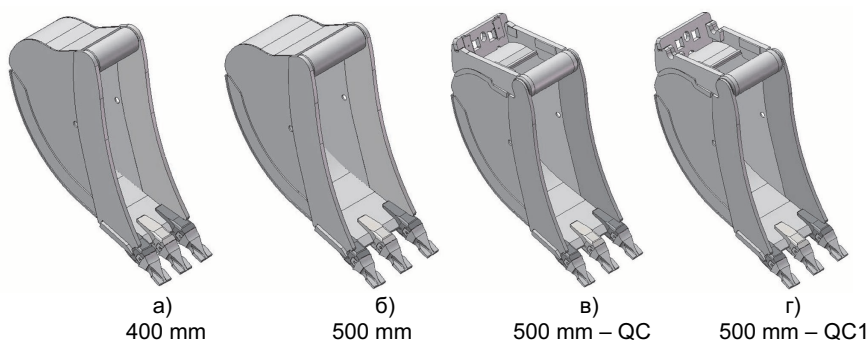
Разработването на тримерните модели е съобразено с възприетата технология на производство на

координатни системи, съвпадащи с координатната система *Origin* на тримерния модел. Тримерният модел сглобен по този начин, позволява бърза замяна на горната или базовата част, чрез функцията *Replace Components*. Това позволява автоматизирано получаване на нови тримерни модели на кофи, характеризиращи се

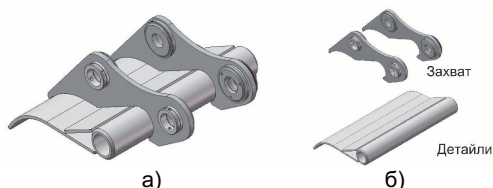


Фиг. 3. Параметричен тримерен модел на кофа с различни конфигурации.

с различни особености на горната или базовата част.



Фиг. 4. Специални конструкции кофи - а) и б) кофи без захват, г) и д) кофи предназначени за бързосменни системи тип QC и QC1, разработка на фирмата.



Фиг. 5. Тримерен модел на горната част – а)общ вид и б) детайли на кофата и захват.

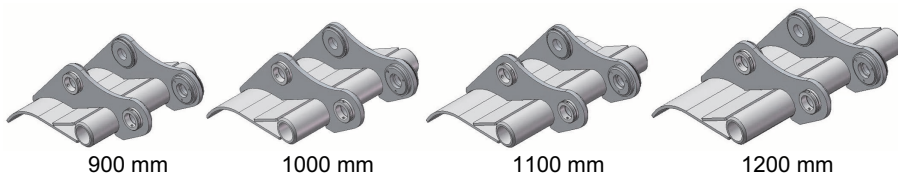
На фиг. 3 са показани конфигурации на параметричен тримерен модел на кофа, в зависимост от ширината ѝ.

Специалните конструкции кофи се проектират само в определени случаи, тъй като представляват уникални разработки. Тримерните им модели не са параметрично

моделирани. На фиг. 4 са показани модели на такива кофи.

- Параметрични модели на горната част на кофите;

Тримерният модел на горната част също е параметрично моделиран. Горната част съдържа част от детайлите на кофата (тръба, капак, подпора) и захват (фиг. 5).



Фиг. 6. Параметричен примерен модел на горната част с различни конфигурации.

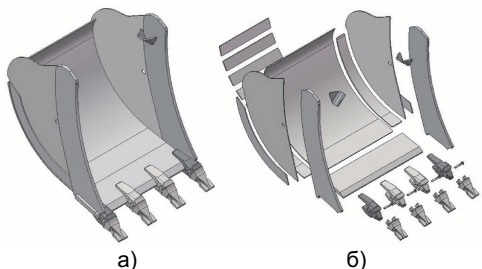
Всеки детайл е параметрично моделиран и има конфигурации с различни дължини. Захвата представлява преходното звено между кофата и рамото на багера.

На фиг. 6 са показани конфигурации на параметричен примерен модел на горната част, в зависимост от дължината ѝ.

В зависимост от вида на захвата, горната част бива – стандартен тип (за щифтове – фиг. 5), за бързосменни устройства, разработка на фирмата (*QPU – Universal Quick Coupler*, *QC – Quick Coupler* и *QC1 – Quick Coupler 1*) [5], за бързосменни устройства *Verachtert (CW)* [6], за бързосменни устройства *Volvo (S1, S2, S3 и S6)* [7], за бързосменни устройства *Bauman*, за багери *Liebherr* [5] и други.

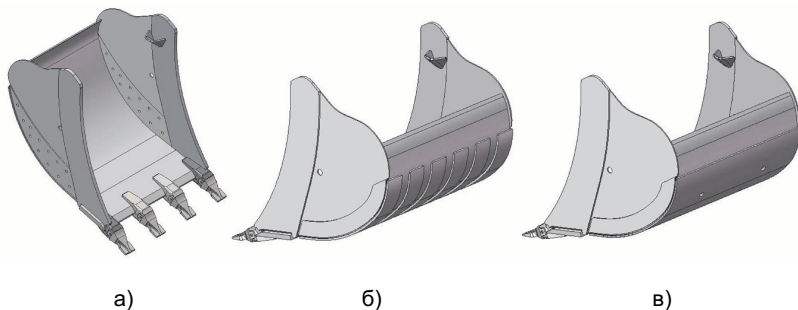
- Параметрични модели на базовата част на кофите.

Фиг. 7. Примерен модел на базовата част – а) общ вид и б) разглобен вид.



Триммерният модел на базовата част е параметрично моделиран. Базовата част съдържа всички останали детайли на кофата (фиг. 7). Част от

детайлите са параметрично моделирани и имат конфигурации с различни дължини, други са с постоянни размери. Базовата част бива две разновидности – със зъби и без зъби.



Фиг. 9. Специални конструкции на базовата част – а) с отвори по страничните повърхнини, б) с вертикални подпори на дъното и в) с двойно дъно.

Тримерният модел на базовата част представлява завършен модел на кофа. Детайлите, които са в състава на горната част (тръба, капак, подпора) са подтиснати с функцията *Suppress* и не са част от завършения тримерен модел на кофата. Може да се използва и функцията *Hide Components*, като по този начин компонентите в модела само се скриват.

На фиг. 8 са показани конфигурации на параметричен тримерен модел на кофа, в зависимост от ширината ѝ.

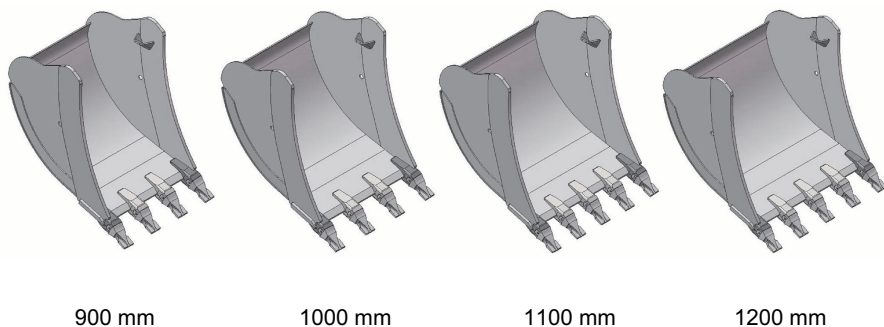
На фиг. 9 са показани различни тримерни модели на специални конструкции на базовата част, които също са параметрично моделирани.

4. Използване на параметричните тримерни модели от специализирана система за управление на инженерните данни.

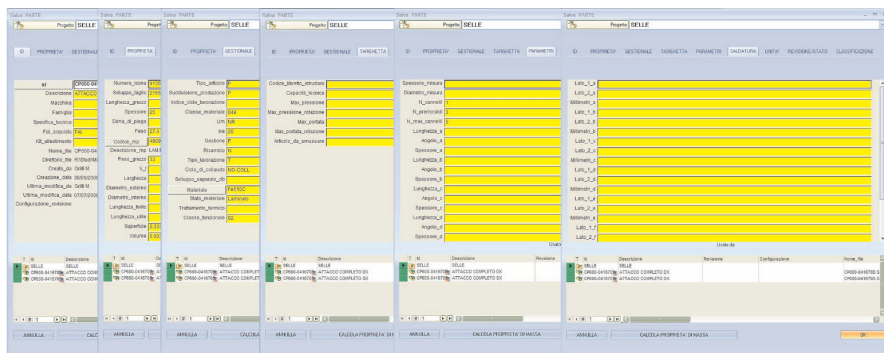
След като тримерните модели на кофите са моделирани параметрично, следващата стъпка е управлението им от специализирана система. Програмата, която се използва е *DB Works*. Системата прави връзка между проектантския и производствения отдел.

Когато даден тримерен модел на детайл, възел или сглобена единица е завършен и са разработени всички съпътстващи го чертежи и документация, той се вписва в системата. Следва ревизирането му. Това означава, че файловете са проверени и одобрени от лицето отговарящо за дадената разработка. По този начин параметричният тримерен модел и конструктивната му документация, стават достъпни за производствения отдел и могат да се заложат в производствения процес. Когато даден модел не е ревизиран, означава че се работи по него и се извършва някаква модификация и той не може да бъде използван в производството.

При записване на всеки файл, програмата изисква въвеждането на определени данни и параметри, в зависимост от това дали става въпрос за детайл, възел или сглобена единица. Към тези данни спадат вида на материала на детайла, необходимите операции за изработването му, вида и формата на заварките за сглобените единици и други. Тези данни са видими в производствения отдел и се залагат при производството на даденото изделие. Когато даден тримерен модел е параметрично моделиран, всяка от конфигурациите носи в себе си необходимите данни и параметри необходими за изработването на конкретното изделие.



Фиг. 8. Параметричен тримерен модел на базовата част с различни конфигурации.



Фиг. 10. Система за управление на инженерните данни *DB Works*.

На фиг. 10 са дадени няколко прозореца от системата управление на инженерните данни *DB Works*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направеното са получените следните резултати:

1. Чрез CAD системата *SolidWorks* са разработени тримерни модели на цялата гама кофи за изкопни дейности тип *NGP (New General Purpose – Общопредназначение)*, съгласно представената класификация.
2. Тримерните модели са параметрично моделирани и съдържат множество конфигурации, в зависимост от различните особености, които имат кофите.
3. Моделите на кофи са проектирани така, че да се използват от системата за управление на инженерните данни *DB Works*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. SolidWorks – Книга за потребителя - Функционалност, примери, насоки. ТехноЛогика. 2007.
- [2]. SolidWorks – Базово моделиране. Чертежи, книга 1. ТехноЛогика. 2008.
- [3]. SolidWorks – Разширени възможности, книга 2. ТехноЛогика. 2008.
- [4]. Lombard M. SolidWorks 2009 – Bible. Wiley. 2009.
- [5]. www.mantovanibenne.com. Buckets Line, Quick Couplers Line. 2010.
- [6]. www.veraned.nl. Buckets Excavator, Quick Coupler. 2010.
- [7]. www.volvocom.com. Attachments, Buckets, Quick Fit Systems. 2010.
- [8]. www.liebherr.com. Attachments. Backhoe Bucket. 2010.

За контакти:

маг. инж. Николай Станков, Катедра „Технология на машиностроенето и металоорежещи машини“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082/888 714, *e-mail: nstankov@uni-ruse.bg.*

Получаване на еднослойно TiN покритие върху магнезиева сплав

автор: Емине Ахмедова
научен ръководител: д-р инж. Ваня Захаријева

Abstract: *In this work have been investigated the possibility for deposition of hard and wear resistance TiN mono layered coatings on a substrate of easy meltable magnesium alloy. Two basic PVD methods are used: magnetron sputtering (MS) and arc electrical evaporation (ARC). Macro- and micro structure analysis have been performed and compared with coating's appearance. The results present an opening for choice of suitable method and regime for deposition of such coatings on easy meltable alloys.*

Keywords: MS - magnetron sputtering, ARC – electrical arc evaporation, TiN coatings.

ВЪВЕДЕНИЕ

Различните видове магнезиеви сплави намират широко приложение в автомобилната, космическата промишленост в самолетостроенето и др. Използват се и за направата на турбини за двигатели в енергетиката [6, 7, 11]. По тази причина към работния повърхностен слой на детайлите се предявяват завишени изисквания по отношение изнosoустойчивост, твърдост, добри фрикционни характеристики. Във връзка с това вакуумните покрития на титанова основа и PVD методите за тяхното получаване притежават големи технологични възможности за решаване на тези проблеми [8, 10].

Еднослойните покрития от вида TiN, TiAlCN, TiCrAlN, TiAlN, TiSiN са сравнително евтини и могат да се нанасят върху различни материали, като показват висока плътност, твърдост, адхезия и добра изнosoустойчивост [3, 4, 5].

Покриването на меки железни материали с керамични покрития, в това число и на режещи инструменти, и такива за пластична деформация повишават производителността на последните [1,2]. При покриване обаче на меки и сравнително леснотопими сплави, каквито са тези на магнезиева основа възниква един допълнителен проблем – опасност от локално ратопяване и/или изпаряване на покриваната повърхност, което нарушава целостта и работните възможности на покритието [9].

В настоящата работа е получено еднослойно TiN покритие върху магнезиева сплав чрез MS и ARC методите. Изследвано е влиянието на последните и параметрите на отлагане върху външния вид и микроструктурата на образците с цел избор на метод и режим подходящи по отношение запазване целостта на покриваната повърхност.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА И ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Материалът на подложките е MgAl сплав, доближаваща се до стандартната MA5 със среден състав: Mg - 90%; Al - 8.5%; Zn - 1% и примеси 0,5%. Размерите на образците са 20x20x10 и 20x20x40 mm. Преди нанасяне на покритието пробите са шлифовани и полирани.

Съоръжения

Инсталация за магнетронно разпръскване (MS) ВЕП-1

Използвана е вакуумна инсталация ВЕП-1 с водоохлаждаема камера, в горната част на която е монтирана планарна магнетронна разпръскваща система. Нагревното пространство е ограничено от топлоизолационна камера, направена от графитова вата и молибденови екрани. Нагряването на изделията се осъществява от цилиндричен графитов нагревател с размер $\phi = 200$ mm и $H = 150$ mm и възможност за достигане до 1350°C .

Технологичния режим включва начално вакуумиране до $4,7 \times 10^{-4} + 7,8 \times 10^{-3}$ mbar, като преди нанасяне на покритията се извършва нагряване на подложката до температура на метализация в интервал от $270 \div 350^\circ \text{C}$.

За получаване на TiN - те покрития върху сплавта е разпрасена мишена от техническа сплав BT3 – 1 със състав: Ti – 89.5288%; Al – 5.7718%; Cr – 1.4205%; Mo – 2.0416% Fe – 0.3827%; Si – 0.28%. Налягането е $6+8 \times 10^{-3}$ mbar в атмосфера от Ar-11,44 sccm и $\text{N}_2 - 1,2 \pm 0,5$ sccm за време от $60 \div 90$ min при средна мощност на разпръскване 2 kw.

Параметрите на проведените режими са представени обобщено в таблица № 1. Само при един режим (№ 1) е проведено предварително почистване на подложките в тлеещ разряд, а при режими №№ 8 и 9 с цел намаляване на напреженията в покритието предварително е отложен Ti слой. За всички режими потенциалът на подложките U_n е бил плаващ.

Посочените параметри осигуряват скорост на кондензация $0,008-0,18 \mu\text{m/min}$ при разстояния мишена - подложка $L_{\text{МП}} = 75$ и 90 mm.

Таблица 1 Режими на отлагане на TiN покритие върху Mg сплав - MS метод

Режим №	$P_{\text{нач.}}$ [mbar]	$P_{\text{раб.}}$ [mbar]	U [V]	I [A]	G_{Ar} [sccm]	G_{N_2} [sccm]	T $^\circ\text{C}$
1*	4.3×10^{-3}	7.8×10^{-3}	$310 \div 365$	$2.6 \div 4$	14.3	$1.22 \div 1.53$	-
2	7.1×10^{-3}	6.8×10^{-3}	$310 \div 365$	$4 \div 4.1$	14.3	$1.53 \div 5.88$	-
3	7.2×10^{-3}	7.0×10^{-3}	319	4.1	14.3	3.06	-
4	9.3×10^{-3}	9.1×10^{-3}	$340 \div 370$	$4 \div 5.2$	14.3	7,29	110
5	8.1×10^{-3}	8.3×10^{-3}	350	$6.7 \div 7$	8.58	$12 \div 12,48$	$40 \div 260$
6	8.6×10^{-3}	8.1×10^{-3}	380	5	$2,86 \div 20.02$	$10.2 \div 31.11$	$270 \div 290$
7**	4.7×10^{-4}	$8.6 \div 8.7 \times 10^{-3}$	$260 \div 280$	$1.25 \div 5$	$5.72 \div 20.02$	$4.08 \div 14,56$	350
8***	2.1×10^{-4}	4.3×10^{-3}	320	$5 \div 6$	11.44	3.26	280
9***	3.2×10^{-4}	4.0×10^{-3}	$300 \div 310$	6	11.44	4.08	$260 \div 290$

Режим 1* - Предварително почистване в тлеещ разряд е при параметри: поток на аргона $G_{\text{Ar}} = 14.3$ sccm и работно налягане $P_{\text{Ar}} = 1.5 \times 10^{-1}$ mbar за 10 min.

Режим 7** - Проведен е само върху подложки от стомана 9XC.

** Поради смущения в захранването, спецификата на процеса и други основните параметри са се изменяли по време на режима в посочените граници.

*** Предварително отложеният Ti слой е получен за време 10 [min], поток на аргона $G_{\text{Ar}} = 10$ sccm и работно налягане съгласно таблицата.

Инсталация за електродъгово изпаряване (ARC) Титан 1- 4

Инсталацията представлява водоохлаждаема вакуумна камера за нанасяне на покрития в лабораторни условия върху детайли със сравнително малки размери. В инсталацията е монтиран вертикален електродъгов изпарител. В нея съществува възможност за въртене на подложките с различна скорост за по-равномерно покриване на образците. Режимите за отлагане са представени обобщено в таблица № 2. Във всички случаи, преди нанасянето на същинското покритие от TiN е отлаган междинен Ti подслоей. Част от параметрите на отлагане (потенциал на подложките, време на метализиране) са изменяни в различни граници за отделните режими, като при два от тях (№№ 3 и 4) е провеждано предварително почистване на образците в газометална плазма.

Таблица 2. Режими за отлагане на TiN покрития върху Mg сплав – ARC метод

Режи м №	$P_{нач.}$ [mbar]	$P_{раб.}$ [mbar]	$I_{раб.}$ [A]	Почистване	Междинен слой	TiN покритие
1	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-3}	120[A]	-	$U_n = -100$ [V] $t_n = 5$ [min] Раб. газ - Ar	$U_n = -50$ [V] $t_n = 25$ [min] Раб. газ – N_2
2	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-3}	120 [A]	-	$U_n = -150$ [V] $t_n = 5$ [min] Раб. газ - Ar	$U_n = -100$ [V] $t_n = 25$ [min] Раб. газ – N_2
3	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-3}	120 [A]	$P = 2.0 \times 10^{-2}$ [mbar] $U_n = -100$ [V] Раб. газ Ar $t_n = 60$ [min]	$U_n = -50$ [V] $t_n = 5$ [min] Раб. газ - Ar	$U_n = -50$ [V] $t_n = 25$ [min] Раб. газ – N_2
4	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-3}	120 [A]	$P = 2.0 \times 10^{-2}$ [mbar] $U_n = -100$ [V] Раб. газ Ar $t_n = 30$ [min]	$U_n = -100$ [V] $t_n = 5$ [min] Раб. газ - Ar	$U_n = -100$ [V] $t_n = 25$ [min] Раб. газ – N_2

Външният вид на покритията е изследван органолептично (с невъоръжено око), а микроструктурата е наблюдавана на металографски микроскоп Еpyтip-2.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Външен вид

Външният вид на образците след нанасяне на покритието при различните режими се различава съществено. Установено е, още при режим № 1 от Табл. № 1, че подложката от магнезиева сплав не позволява почистване в тлеещ разряд при използваните параметри на разряда, които могат да се осигурят в използваната експерименталната пещ ВЕП-1 преди магнетронното отлагане на покритието.



Фиг. 1. Външен вид на покритието след почистване в тлеещ разряд
ляво – $L_{МП} = 75$ mm
дясно – $L_{МП} = 90$ mm



Фиг. 2. Външен вид на покритието
ляво - режим № 5, стоманена и
магнезиева подложки
дясно - режим № 6, стоманена подложка

Мощността на плазмата при режим № 1 е голяма и води до увреждане на повърхността на подложката (фиг. 1) и за двете разстояния мишена-подложка. Представлява интерес и възниква задачата да се провери възможността за почистване в тлеещ разряд при по-висок вакуум (10^{-2} или дори 10^{-3} mbar) при по-ниска мощност на разряда на почистване. Това трябва да бъде съчетано със фазов

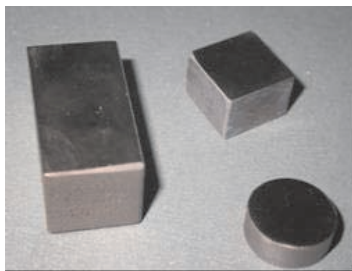
анализ на магнезиевата сплав и свързани с него данни относно температурата на топене на различните фази.

При режими до 7-ми от Табл.1 получените покрития се напукват и частично се отделят от подложката, или цветът им не отговаря на този за стехиометричния състав на TiN (фиг.2).

Добри на външен вид покрития са получени при режими №№ 8 и 9 (фиг. 3 а/, б/). Образците от 8-ми режим са с цвят на подстехиометричен състав, а тези от 9-ти по вид се доближават до надстехиометричен състав на нитрида. И в двата случая покритията са сравнително плътни и с видимо добра адхезия към подложката. Това може да бъде обяснено с наличието на предварителния титанов слой, който освен че позволява релаксирането на напреженията в основното TiN покритие, "запечатва" подложката и не позволява повреждането ѝ от плазмения поток при последващото отлагане на нитридно покритие.



а/



б/



в/

Фиг. 3. Външен вид на покритието от TiN при:

MS - а. режим № 8 и б. режим № 9 Табл. .

ARC – в. при режим № 1 Табл. 2.

(без почистване и нисък потенциал на подложките)

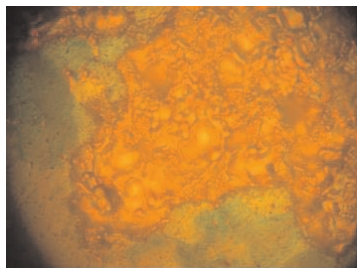
При електродъгвото отлагане на покритията, с изключение на режим № 1 съгласно Табл. 2. - фиг. 3 в/ - при всички останали, независимо от варирането на параметрите на процеса в широки граници, почистването или липса на такова в метална плазма и наличието на междинен титанов слой, покритието се разрушава и отделя от подложката. Повърхността на последната е повредена подобно на картината при магнетронното разпрашване, независимо от наличието на предварително нанесен междинен Ti подслой. При това тук ефектът е по-силен поради по-високата степен на йонизация и плътност на паровия поток, характерен за този метод. При успешния режим № 1 почистване на подложките в газометална

плазма не е провеждано, а техният потенциал при отлагане на покритието е бил най-нисък. Това е спомогнало за по-слабата бомбардировка и прегряване на повърхността на подложката. Липсата на почистване обаче води до по-слаба адхезия на покритието и неговото разрушаване при по-продължително съхраняване.

Микроструктурен анализ

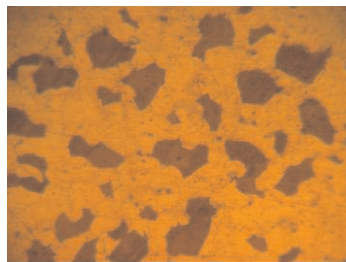
Анализът е проведен само за магнетронно отложените покрития и доуточнява някои особености в структурата на повърхностния слой.

Фиг.4. потвърждава състоянието на системата покритие-подложка при режим № 1 в случая на почистване с тлеещ разряд непосредствено преди нанасяне на покритието. Очевидно на места поради ниската температура на топене на сплавта - 437°C - повърхността е била локално разтопена и/или изпарена (разпрасена) при почистването в резултат на което са се образували кратерите. Възможно е също така тези процеси да продължават и при последващото отлагане на основното покритие, което води допълнително до неговото разрушаване. Последното предположение се подкрепя от картината за режим № 3 – т.е и тук, без почистване, плазменият поток води до коментираните по-горе нежелателни дефекти поради повърхностно прегряване на подложката – фиг. № 5.



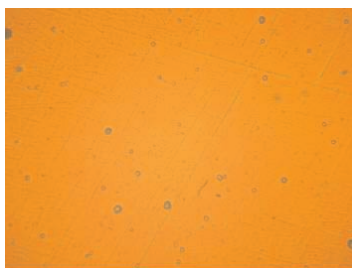
x500

Фиг. 4. Състояние на повърхността след почистване с тлеещ разряд



x500

Фиг. 5. Състояние на повърхността при режим № 3



x500

Фиг.6. Състояние на повърхността при режим № 8

При това нараства опасността от преминаване на магнетронния разряд в дъгов при по-малкото разстояние мишена-подложка, което допълнително разрушава

повърхността. Освен това, натрупването на големи остатъчни напрежения при охлаждане след края на процеса благоприятства разрушаването на покритието.

При успешния режим № 8, проведен при $L_{МП} = 90 \text{ mm}$, където е нанесен междинен титанов подслој преди отлагането на покритието от TiN и предварителното прогряване във вакуум е с по-голяма продължителност микроструктурният анализ потвърждава запазването на повърхността – фиг. 6.

Измерените дебелини на покритията там, където е било възможно са около 2 μm за $L_{МП} = 75 \text{ mm}$. За покритията от режими №№ 8 и 9, проведени само на едно ниво ($L_{МП} = 90 \text{ mm}$), дебелината е по-малка.

ИЗВОДИ

1. Резултатите показват, че по принцип е възможно нанасянето на покритие от TiN върху Mg сплав чрез магнетронно разпръскване на титанова сплав (BT3-1) и във вакуумна пещ.
2. В изследваните граници почистването с тлеещ разряд поврежда повърхността на подложката.
3. Качествено покритие се получава след отлагане на междинен титанов подслој, работа при разстояние мишена-подложка $L_{МП} = 90 \text{ mm}$ и предварително прогряване на подложката съобразено с температурата на топене на сплавта 437°C .
4. ARC методът в изследваните граници на параметрите на режима на отлагане не позволява нанасянето на качествено покритие от TiN върху магнезиева сплав.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шишков Р. и др., Проект 2001-МТФ-02 НФНИ
- [2] Шишков Р. и др. НФНИ; Проект 2002-МТФ-02; Отчет; РУ "А.Кънчев", 2003.
- [3] Кънев М. и др., "Вакуумно метализиране", София, Техника, 1986 год.
- [4] Кънев М. и др., "Вакуумно термично и химико-термично обработване", София, Техника, 1984 г.
- [5] Кънев М. и др., "Технология за нанасяне на покрития", Русе, ВТУ, 1986 г.
- [6] Самсонов Г., "Тугоплавкие соединения", Москва, Металлургия, 1976 г.
- [7] Богдев А., и др. "Съвременни технологии в инструменталното производство", Техника, София, 1979 г.
- [8] Hovsepian P.Eh., Lewis D. B., Münz W-D., "Recent progress in large scale of multilayer/superlattice hard coatings", Surface & Coatings Technology, 133-134 (2000) 166-175.
- [9] Zhang S., Sun D., Fu Y. and Du H., Recent advances of superhard nanocomposite coatings: a review, Surface & Coatings Technology, 167 (2003) 113-119.
- [10] Диденко А. Н., Лигачёв А. Е., Куракин И. Б., Воздействия пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов, М., Энергоатомиздат, 1987 г.
- [11] Kawamura M., Kumagai K., Abe Y., Sasaki K. And Yanagisawa H., "Characterisation of TiN films prepared by rf sputtering using metal and compound targets", Pergamon, Vacuum, vol.51 (1998) pages 377-380.

За контакти:

Д-р инж. Ваня Захариева, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 317, e-mail: vzaharieva@uni-ruse.bg

Web базирано ръководство за упражненията по кристалография

автор: Светлана Джурова
научен ръководител: доц. д-р. Първолета Дочева

Abstract: *The purpose of this article is to present WEB based exercises of subject Crystallography for e-Learning. Together with tests for self-learning, a crystal gallery, glossary and applets are presented.*

Key words: *crystallography*

ВЪВЕДЕНИЕ

Промените в България и в Българската образователна система промениха очакванията и мотивацията на студентите. Това поставя нови изисквания относно начина на поднасяне и онагледяване на преподавания материал.

Използването на мултимедийни продукти в процеса на преподаване и обучение по кристалография е перспективно, поради възможността за представяне на материала по атрактивен начин и онагледяване, както на симетричните преобразувания характерни за кристалите, така и на различните кристални форми пред големи групи от студенти.

При разработване на приложението са следвани няколко цели:

- постигане до известна степен на дистанционно обучение по дисциплината Кристалография за студентите от РУ.
- внедряване на нови технологии в обучението.
- повишаване на интереса към дисциплината Кристалография.

СЦЕНАРИЙ НА ПРИЛОЖЕНИЕТО

Разработеното мултимедийно приложение е част от проект за изграждане на система за обучение по кристалография, включващ както лекционен материал така и упражнения, онагледени с множество илюстрации и аплети. Материалът представен в разработеното приложение за обучение по кристалография на студентите от инженерните специалности на Русенския университет е съобразен с учебната програма.

Създаденото чрез дипломния проект приложение има стълбовидна структура. В литературата са описани три вида структури (потокови диаграми), използващи се при създаване на мултимедийни обучаващи курсове за дистанционно обучение: дървовидна, стълбовидна и йерархична. Оформени са следните основни информационни полета: упражнения, контролни въпроси (тестове), речник, галерия, литература и аплети. Наименованията на отделните бутони (информационни полета) еднозначно определят тяхното съдържание.

При реализацията на сайта е използван следния сценарий:

1. Планиране на WEB-сайт

В етапа на планиране на сайта е извършен анализ на присъстващите до момента в интернет пространството приложения от този тип и се изясниха целите на разработката, а именно:

- внедряване на нови технологии в обучението по кристалография;
- поставяне на процеса на обучение на по-високо ниво;
- постигане до известна степен на дистанционно обучение на студентите по дисциплината Кристалография.

Въз основа на поставените задачи е ясно, че трябва да се разработи интернет приложение, в което да се съчетаят правилно текст, графика, видео и мултимедийни елементи.

2. Определяне на основните елементи на сайта

Елементите използвани при създаването на приложението не се различават съществено от обичайните средства използвани в HTML редакторите (текст, компютърна графика и др.).

Същественото при реализацията на сайта е използването на .gif анимации и java аплети, с помощта на които се постига по-голямо разбиране на симетрията на кристалите. Особеното при аpletите е, че не могат да се стартират извън брауъра. Именно поради тази причина, мултимедийното приложение е реализирано като сайт, за да могат да се използват възможностите предоставени в аpletите.

3. Избор на редактор за реализиране на сайта.

При разработката за основен редактор е избран Microsoft Front Page.

СЪЗДАВАНЕ НА WEB САЙТА

Определят се броя на страниците, които вземат участие в навигацията на сайта. Тя се извършва по два основни начина:

1. Посредством меню

Във Web базираното приложение е разработено меню (под формата на съдържание)

2. Посредством бутони предоставни от брауъра

- Вмъкване на изображения

При вмъкване на графични изображения (.gif, .jpg, animated gifs) е желателно те да се задават в проценти от екрана, за да няма проблеми при визуализацията на различни платформи.

- Вмъкване на мултимедийен елемент

Вмъкнатите java аплети представляват мини-приложения (откъдето идва и терминът), които могат да се стартират вътре в прозореца на брауъра.

- Хипер връзки

Основно са използвани относителни хипервръзки

В сайта има създадени връзки към: подтеми на основните теми и допълнителни материали по съответните теми

Основната идея при реализирането на приложението е посетителят да бъде максимално улеснен при работата си с компютъра. За целта:

- от началната страница се получава информация за самия сайт и темите застъпени в него, като се предоставя възможност за достъп до тези теми. Всяка тема (упражнение) включва подходящ теоретичен материал (текстови файлове създадени на Microsoft word), придружен с илюстрации, показващи ключови моменти от темата и мултимедийни елементи, внасящи интерактивност на страницата (java аплети и .gif анимации разработени с Jasc Animation Shop 3.05).

- бутони с различни цели, като например:

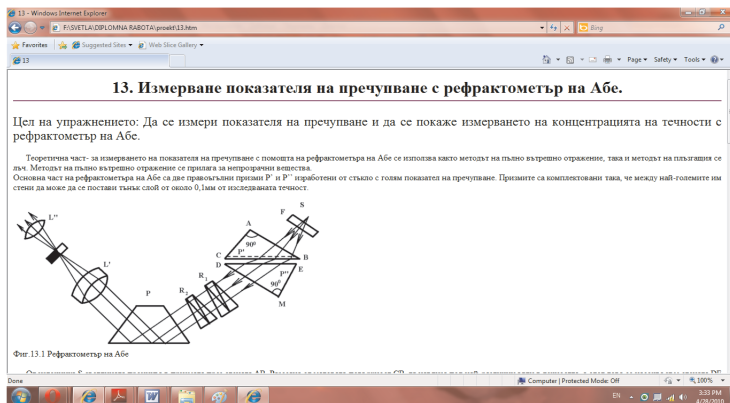
- речник – в този бутон е събрана специфичната терминология от Кристалографията използвана в упражненията
- тест – това е бутон за проверка на самоподготовката, създаден чрез програмата Hot Potatoes
- галерия – тук са показани общия вид на кристалите, имената и химичните им формули, които се разглеждат в упражненията
- аплети – показани са няколко кристални форми, представители на различните сингонии, които чрез ротация могат да бъдат разгледани от всички страни
- литература – книги и практикуми за упражнения по кристалография, като WEB сайтовете от които са взимани снимки, схеми, аплети са посочени на място..

Началната страница на сайта има вида, показан на фиг. 1.



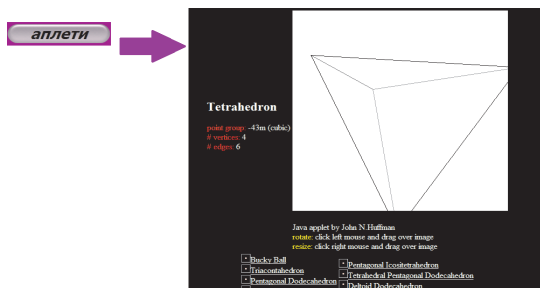
Фиг. 1. Начална страница на сайта

Менюто съдържа основните теми от приложението, а всяка една от темите има вид подобен на този показан на следващата фигура.



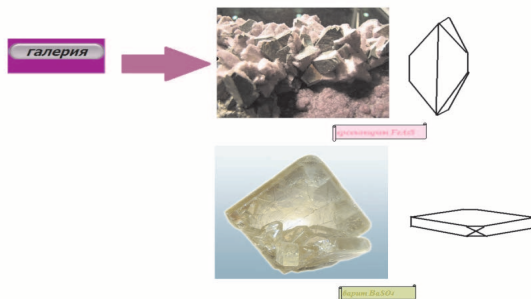
Фиг. 2. Общ вид на тема от основното меню

Освен това от бутона “Аплети” може да се достигне до няколко java аплети, свързани с темите, които изглеждат по следния начин (фиг. 3)



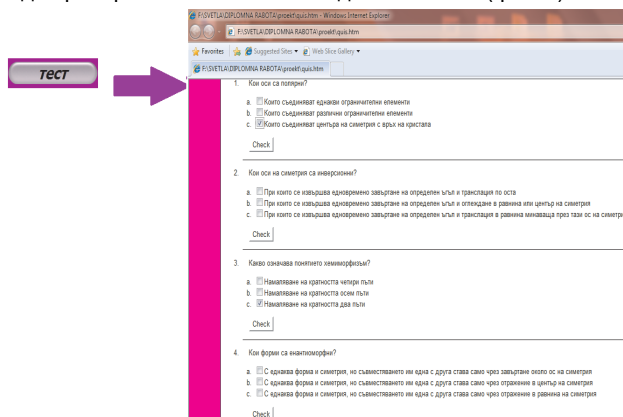
Фиг. 3 Java анимирани аплети

От бутона “Галерия” се достига до галерия от снимки на реални кристали, които са използвани за илюстриране на различните класове и сингонии.



Фиг. 4. Снимка на кристалите арсенопирит и барит, представители на ромбичната сингония

Друг основен аспект за самоконтрол на студентите е бутонът „тестове“. Даваш им възможност да проверят нивото на самоподготовката си (фиг. 5).



Фиг.5 Бутон „тест“ и част от съдържанието му

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаденият мултимедия продукт може да бъде използван самостоятелно, но може да бъде включен в Интернет, като се използва функцията, която Microsoft Front Page предлага. Използването му ще спомогне за:

- разширяване, задълбочаване на знанията по кристалография
- създаване на мотивация за учене и потребност от самостоятелност
- повишаване на интереса към дисциплината кристалография

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кристалография – ръководство за лабораторни упражнения, Митев, Стоянова Габрово, 2002.
- [2] Ръководство за упражнения по кристалография, минералогия и петрография, Ставракева, Иванов, София, 1993.
- [3] Кристалография, Лейтвейн, Заммер-Кулачевски, Москва, 1968.
- [4] Кристалография, Костов, София, 1963.

За контакти:

Светлана Джурова, специалност „Технология на материалите и материалознание“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, E-mail: svetlana_djurova@abv.bg

доц. д-р. Първолета Дочева, катедра „Материалознание и технология на материалите“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, E-mail: docheva@uni-ruse.bg

Сравнителен анализ на методи за избор на материал

автор: Мариета Станоева
научен ръководител: доц. д-р Росен Радев

Abstract: *Several methods for materials selection are compared in this article: geometrical approach with computer databases, decision-matrix methods – Pugh, Pahl and Beitz, Ashby diagrams using performance indices. As an example, materials selection of carabiner was choosen. The results from analysis confirm the opportunity to receive correct decisions for all investigated methods.*

Key words: *materials selection methods*

ВЪВЕДЕНИЕ

Проектирането е процес на трансформиране на една идея в подробна информация, използването на която дава възможност да се произведе определен продукт. Изборът на подходящ материал е ключова стъпка в проектирането, защото до голяма степен се определя възможността на съответния детайл или изделие да изпълнява функциите си. Материалите, заедно с производствените процеси превръщайки ги в използваеми изделия осмислят целия процес на проектиране и са връзка между изчисленията и чертежите и вече работещите готови продукти.

Значимостта на избора на материал нараства още повече като се отчетат все по-силната връзка между материал и производствен процес, определящи свойствата на изделието.

Решаването на задачата на избор на материал изисква добро познаване на различните видове материали, техните свойства и характеристики, процесите на обработката им, както и да се отчитат фактори, свързани с икономически изисквания, ниво на автоматизация на производството, ергономични и екологични форми. За решаването на тази задача се прилагат редица методи [1], например:

- компютърни бази данни;
- специфични показатели;
- матрици за вземане на решение;
- експертни системи.

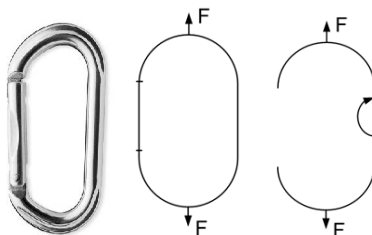
Като се отчита, че към момента няма един или няколко метода, които да са в позиция на предпочитани, то сравнителния анализ между тях е актуална задача. Именно това е и целта на настоящата разработка: сравнителен анализ на някои от съществуващите методи и на получените по тях резултати. В разработката са разгледани и сравнени следните методи и подходи за избор на материал:

- геометричен подход за избор на материал с помощта на компютърни бази данни;
- метод на Пух за избор на материал с помощта на матрици за вземане на решение;
- метод на Пал и Бейц за избор на материал с помощта на матрици за вземане на решение;
- диаграми на Ашби, използващи специфични показатели.

Изброените методи се съпоставят като се прилагат за избор на материал за реално изделие, предназначено за практикуване на екстремни спортове – туристически карабинер (фиг.1). Той представлява метален пръстен, която се затваря посредством муфа с резба, пружина или винт. Приложението му е главно в спортове, като алпинизъм, скално катерене, спелеология, ветроходство и др. Предназначен е да бъде свързващо звено между останалите части на екипировката в съответния спорт.

Карабинерите, които се използват в алпинизма и скалното катерене са отговорни детайли и към тях се поставят строги изисквания за висока якост, твърдост и жилавост, ниска маса и цена, и др. Карабинерът, обект на настоящата разработка, е с овална форма и стандартно заключване. Основното натоварване, което понасят тези изделия е опън, а за случаите когато са с незатворена муфа – опън и огъване (фиг. 1).

Към материалите за изработване на карабинера са поставени следните изисквания: ниски плътност (определяща ниска маса на изделието) и цена, високи якост на опън, твърдост, жилавост и корозионна устойчивост.



Фиг. 1 Външен вид на карабинер и основни натоварвания при работа.

Приложение на изследваните методи за избор на материал

По изброените критерии са разгледани 4 групи материали, като изборът на тези групи се основава на използваните към момента материали за производство на карабинери. Разгледани са алуминиеви сплави, титанови сплави, нисколегирани стомани, композити с въглеродни нишки. Данни за разглежданите свойства на горните материали са почерпани от [2] и са показани в табл.1.

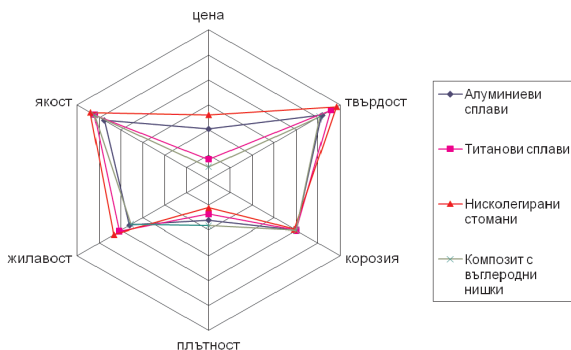
Таблица 1

Критерий	Алуминиеви сплави	Титанови сплави	Нисколегирани стомани	Композити с въглеродни нишки
Цена [£/kg]	0,9	15	0,25	30
Твърдост [Мра]	1510	3800	6930	1200
Корозион-на устойчивост	A	A	B	A
Плътност [Mg/m ³]	2,52	4,36	7,8	1,5
Жилавост [MPa/m ²]	40	120	210	35
Якост [MPa]	595	1630	2450	1600

Геометричен подход

Същността на този метод [3] е представянето на избраните групи материали, като правилен многоъгълник, където различните критерии са разположени по радиусите на описаната окръжност, т.е. по ъглите на многоъгълника. Извършва се сравнителен анализ между многоъгълниците, изобразяващи съответно идеалния

материал за конкретния случай и алтернативните групи материали. Резултатът от прилагането на метода е показан на фиг.2.



Фиг. 2 Представяне на решението по геометричния метод на задачата за избор на материал за туристически карабинер.

Метод на Пух

Това е един от най-опростените метрични методи [4]. При него изборът се прави на основата на качествено сравнение между различните алтернативи.

Използването на метода изисква съставяне на таблица и определяне на представянето на различните материали, според избраните критерии, спрямо отправна алтернатива. Най-подходящ е този материал, който е получил най-много оценки "по-добра алтернатива от отправната" Прилагането на метода е показано в табл. 2.

Таблица 2

Критерий	A 1	A 2	A 3	A 4
	Алуминиеви сплави	Титанови сплави	Нисколегирани стомани	Композити с въглеродни нишки
Цена	Отправна	-	+	-
Якост	Отправна	+	+	+
Твърдост	Отправна	+	+	-
Жилавост	Отправна	+	+	s
Плътност	Отправна	-	-	+
Корозион-на устойчивост	Отправна	s	-	s

Легенда:

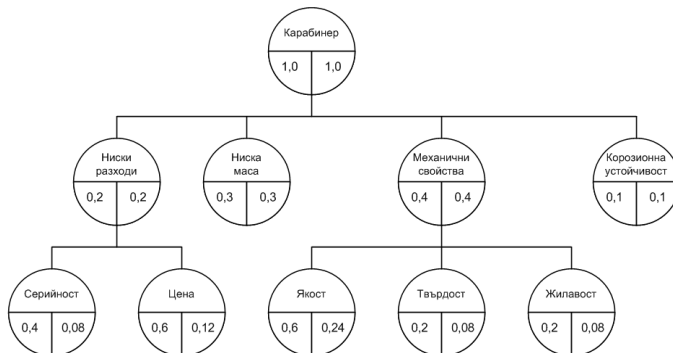
(-) – по-лоша алтернатива от отправната;

(+) – по-добра алтернатива от отправната;

(S) – равностойна алтернатива на отправната.

Метод на Пал и Бейц

Този метод позволява количествено оценяване, използвайки теглови фактор за критериите [5]. В основата на подхода е отново генерирането на критерии и алтернативи. Методът позволява количествено оценяване, използвайки тегловен фактор за критериите. Тегловните фактори се представят в „Дърво на целите“ (фиг.3)



Фиг. 3 „Дърво на целите“.

Таблицата, по подобие на метода на Пух, изразяваща матрицата за вземане на решение се попълва като за всяка алтернатива k и критерий n се вписва стойност v, отразяваща оценката за даден критерий. Стойностите на v се основават на скала от 11 деления, определящи оценки от “абсолютно неизползваем” до “идеален”.

Таблица 3

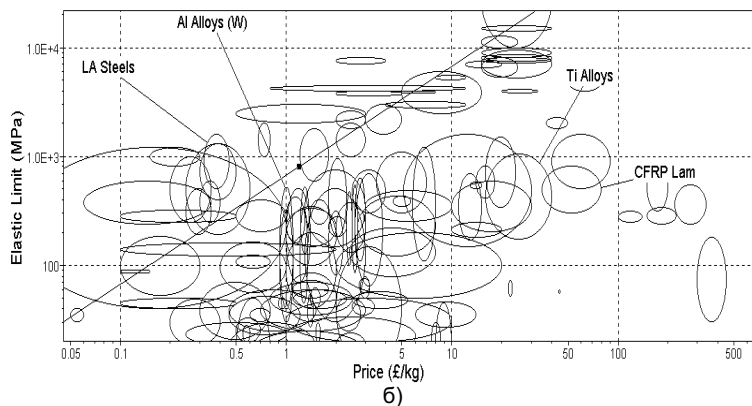
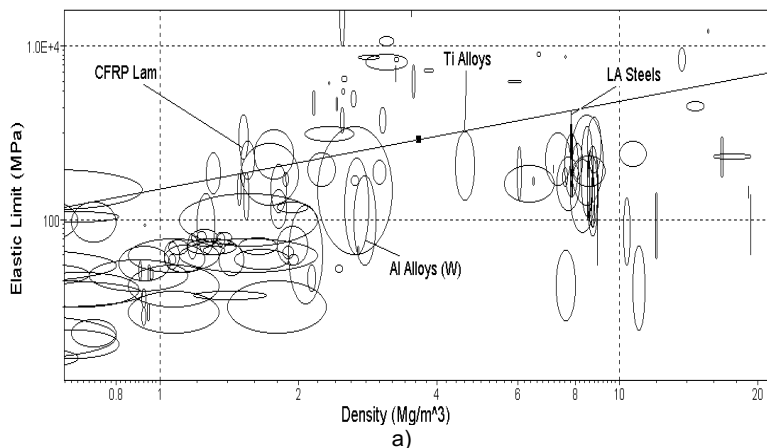
Критерии				Алтернатива 1		Алтернатива 2		Алтернатива 3		Алтернатива 4	
				Алуминиеви сплави		Титанови сплави		Нисколегирани стомани		Композит с въглеродни нишки	
Основни изисквания	№	Критерий за оценка	Тегловен фактор w	Стойност v	Претеглена стойност *v	Стойност v	Претеглена стойност *v	Стойност v	Претеглена стойност *v	Стойност v	Претеглена стойност *v
Ниска маса	1	Ниска маса	0,3	8	2,4	7	1,4	5	1	9	1,8
Корозионна устойчивост	2	Корозионна устойчивост	0,1	9	0,9	9	0,9	7	0,7	9	0,9
Ниски разходи	3	Серийност	0,08	8	0,64	8	0,64	8	0,64	8	0,64
	4	Цена	0,12	7	0,84	6	0,72	9	1,08	5	0,6
Механични свойства	5	Якост	0,24	6	1,44	8	1,92	9	2,16	8	1,92
	6	Твърдост	0,08	6	0,48	8	0,64	10	0,8	5	0,4
	7	Жилавост	0,08	7	0,56	8	0,64	10	0,8	7	0,56
				OMV 1	7,26	OMV 2	6,86	OMV 3	6,54	OMV 4	6,82

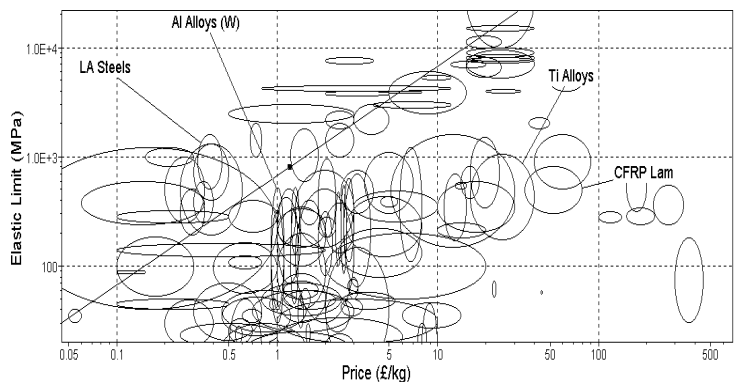
След като вече са получени стойностите на v за всяка клетка и се знаят тегловните фактори w за всеки критерий се пресмятат произведенията $w.v$ за всяка клетка. Сумата от произведенията за всяка алтернатива дава общия претеглен фактор – OMV_i . Показателят на претеглените свойства се използва при избора на материал, като алтернативата с най-голяма стойност на показателя е най-подходящият избор.

Решението на задачата за избор на материал по метода на Пал и Бейц е показано в табл. 3.

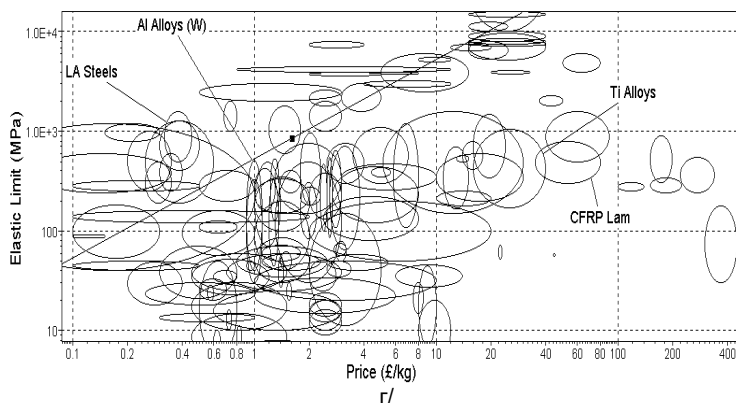
Диаграми на Ашби

Диаграмите на Ашби [6] представят графично различните свойства на материалите и полета, отговарящи на различните класове, подкласове, групи и даже един материал. Тези диаграми съдържат много информация, представена по компактен и достъпен начин. Те дават възможност за лесно прилагане на метода за избор на материал чрез специфични показатели. В зависимост от специфичния показател се построяват диаграми на Ашби и се определя кой от материалите е най-подходящ за даденото приложение.





В/



Фиг. 4. Диаграми на Ашби за специфични показатели $\sigma_F^{2/3}/\rho$ (а) и σ_F/C (б).

При решаването на конкретната задача специфичните показатели бяха избрани по следния начин:

- за случай на затворено положение на карабинера, механичното му поведение се представя като прът, работещ на опън. При избора на материал за лек прът се използва специфичният показател σ_F/ρ , където σ_F е граница на еластичност на материала, а ρ е неговта плътност.

- за случай на отворено положение на карабинера, механичното му поведение се представя като греда, работеща на огъване. Тук се използва специфичният показател $\sigma_F^{2/3}/\rho$.

Освен горните специфични показатели бяха използвани и още два, съответно, за прът работещ на опън и за греда работеща на огъване с ниска цена - σ_F/C и $\sigma_F^{2/3}/C$. В горните зависимости C е цената на материала за 1 kg.

Някои от построените диаграми на Ашби са показани на фиг. 4.

ИЗВОДИ

Направените изследвания дават възможност да се направят следните изводи:

- Според геометричния подход за избор на материал с помощта на компютърни бази данни става ясно, че най-подходяща по този метод е групата на нисколегираните стомани.

- Посредством метода на Пух за избор на материал се установява, че нисколегираните стомани са най-подходящата алтернатива и превъзходат отправната.

- При приложението на метода на Пал и Бейц за избор на материал с помощта на матрици за вземане на решение като най-подходяща алтернатива се открояват алуминиевите сплави. По този метод титановите сплави и композита с въглеродни нишки са равностойни.

- Прилагайки диаграмите на Ашби и абстрахирайки се от цената на изделията, се оказва че най-добри показатели имат композиционните материали. Ако вземем под внимание и цената на материалите се оказва че нисколегираните стомани са фаворит и предлагат най-добро съотношение „якост - цена“. Разглеждайки съотношението „якост - плътност“ нисколегираните стомани са на второ място след композитите с въглеродни нишки. Нисколегираните стомани имат най-висока жилавост, твърдост и най-ниска корозионна устойчивост.

Съпоставката на резултатите, получени по четерите използвани метода показва, че по два от методите нисколегираните стомани са най-добри, а по един от методите са равностойни с композитните материали.

По метода на Пал и Бейц най-добрата група материали са алуминиевите сплави. Това, най-вероятно, се дължи на фактът че при този метод се използват тегловни коефициенти даващи възможност за по-прецизно поставяне на условията на които трябва да отговарят различните алтернативи при избора на материал.

Все пак, въз основа на приложението на методите може да се твърди, че резултатите, получени по тях са подобни и използването на всеки от тях би довело до коректен резултат.

ЛИТЕРАТУРА

[1] . Радев, Р., Избор на материал – принципи, методи, примери, РУ “А. Кънчев”, Русе, 2008.

[2]. Granta Design Ltd., CMS Help, Cambridge Materials Selector, Version 2.03, 1994.

[3]. Hanley, D. P., E. Hobson, Computerized Materials Selection, American Society of Mechanical Engineers, Paper 73-Mat-CC, p.147, 1973.

[4]. Pugh, S., Total Design: Integrated Methods for Successful Product Development, Addison-Wesley, 1991.

[5]. Pahl, G., W. Beitz, Engineering Design: A Systematic Approach, Springer-Verlag, 1993.

[6]. Ashby, M. F., Materials Selection in Mechanical Design, Pergamon Press, Oxford, 1992.

За контакти:

Доц. д-р Р. Радев Катедра “Материалознание и технология на материалите”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 778, e-mail: radev@uni-ruse.bg

Влияние на повърхностното модифициране (азотиране и нанасяне на покритие от TiN) върху корозионното поведение на стомана 4Х5МФС

автори: Цветан Ранделов, Мария Калева
научен ръководител: доц. д-р Диана Цанева

***Influence of the surface modification (nitriding and TiN coating deposition) on the corrosion behaviour of steel 4Cr5MoVSi.** A die steel 4Cr5MoVSi with and without Ti coating was ion nitrided in N_2+H_2 atmosphere at 500 and 540°C and then coated with TiN. The microstructure and corrosion behavior were investigated in 0,1 n Na_2SO_4 and 3 % NaCl solution. It was found that the combined surface treatment enhanced significantly the corrosion resistance of the steel.*

Key words: tool steel, TiN coating, ion nitriding, electrochemical corrosion, protective properties,

ВЪВЕДЕНИЕ

Инструментите за обработване на металите в горещо състояние (щампи и пресформи) са поставени в особено тежки експлоатационни условия – големи контактни натоварвания, повишена температура, агресивна среда. Дълготрайността им в значителна степен се определя от образуването на повърхностни пукнатини. Създаването на натискови напрежения в повърхностния слой и повишаването на жилавостта му наред с термоустойчивостта и корозионната устойчивост може да повиши трайността на инструментите. Повърхностното насищане на стоманите с азот подобрява статичната и динамичната им якост, износоустойчивостта и, в по-малка степен, корозионната им устойчивост [1]. Отлагането на титан-карбидни и титан-нитридни и други твърди покрития върху работните повърхности на инструменти за пластично обработване на метали или за получаване на полимерни изделия подпомага безпроблемното изваждане на изделието от инструмента като гарантира ниска повърхностна грапавост и повишена износоустойчивост. В процеса на обработване на полимерни изделия е възможно отделяне на агресивни за инструмента агенти, които намаляват живота му (Cl^- , S, F). Покритията на титанова основа притежават висока корозионна устойчивост спрямо такива среди, а като се имат предвид и добрите им механични характеристики, тези покрития са предпочитани за употреба в области, в които към инструментите се изисква и повишена корозионна устойчивост [7]. Допълнително подобрение на корозионно-защитните и механичните свойства на повърхностния слой е възможно да се постигне посредством изграждане на многослойна структура, която удължава пътя на магистралните пукнатини. Ето защо през последните десет години особено перспективни стават комбинираните обработки, при които се съчетават химико-термични обработки като йонно азотиране с PVD – покрития, нанесени по различни технологии във вакуум [3, 5, 6].

Целта на настоящата работа е да се сравнят електрохимичните свойства на повърхностния слой на инструментална щампова стомана 4Х5МФС след:

- йонно азотиране в смес от азот и водород;
- йонно азотиране в смес от азот и водород и последващо нанасяне на покритие от титанов нитрид;
- нанасяне на покритие от титан, следващо йонно азотиране на титановия слой и нанасяне на покритие от титанов нитрид.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА И ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Пробните тела от двете стомани са подложени предварително на подобряване, след което на част от тях е нанесено покритие от титан с дебелина 3 μm . Всички пробни тела (с и без покритие) са йонно азотирани при две различни температури и съотношения N_2 / H_2 . Режимите на азотиране и означението на пробните тела са показани в табл.1. Нансянето на покритие TiN е осъществено във вакуумна уредба ТИТАН 1–4 лабораторно - промишлен тип. Уредбата осигурява вакуум приблизително до 2.10^{-3} Pa и възможности за нанасяне на покрития чрез магнетронно разпръскване и електродъгово изпаряване.

Покритията от TiN са нанесени по метода на електродъгово изпаряване [2] в следната технологична последователност:

- почистване на пробните тела в ултразвукова вана с обезмасляващ разтвор;
- почистване в газометална плазма при налягане 1,7. 10^{-3} mbar, напрежение 300 V, ток 120 A и време 5 min.; преднапрежение на подложката U = - 300 V; ток през подложката 0.2 A, t = 20 min, $p_{\text{раб. N}_2}$ = 3,8. 10^{-3} mbar;
- нанасяне на покритие от TiN при $p_{\text{раб. N}_2}$ = 2. 10^{-3} mbar, U = 300 V, I = 120 A, преднапрежение на подложката U = - 300 V; ток през подложката I = 0.8 A, t = 1,5 h.

Таблица – 1 Описание на пробите с покритие от TiN, подложени на изследване

Параметри на предварително йонно азотиране	4X5MФС	4X5MФС + Ti (3 μm)
Режим-1 80% N_2 + 20% H_2 T = 500°C	216	210
Режим-2 80% N_2 + 20% H_2 T = 540°C	207	206
Режим-3 20% N_2 + 80% H_2 T = 500°C	219	203
Режим-4 20% N_2 + 80% H_2 ; T = 540°C	224	225
неазотирана	226	

За определяне фазовия състав на азотирания слой и покритията е извършен рентгеноструктурен анализ с рентгенови дифрактометри URD – 6 и DRON – 2 с Fe K α лъчение. Микроструктурата на пробните тела е изследвана върху напречен шлиф на металографски микроскоп ЕРІТУР – 2 след проявяване с 4 % HNO_3 в етилов алкохол при увеличения x500 и x1000. За измерване на дебелината е използван окулярмикрометър монтиран на микроскопа. Отчетените деления по скалата на окулярмикрометъра се умножават по константа k, чиято стойност зависи от използваното увеличение на обектива на микроскопа и увеличението на окулярмикрометъра. Тя се определя експериментално чрез използване на обектмикрометър. За обектив X50 k = 0,1875, а за обектив X100 k = 0,0926 като стойността на дебелината е в μm .

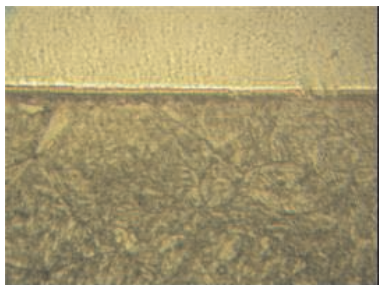
За електрохимичното изследване на корозионно-защитната способност на покритията като агресивна среда е използван 0,1 N воден разтвор на Na_2SO_4 (моделна среда за изследване на азотирани въглеродни и легирани стомани) и 3 % - ен разтвор на NaCl в дестилирана вода. Площта от образците, изложена на въздействието на средата, е 0,4 cm^2 . Такава постоянна площ се дефинира чрез опаковане на пробните тела в специално изработен тефлонов държач. След престой на пробата в електролита до установяване на стационарен потенциал, $E_{\text{стац}}$, са снети потенциодинамични криви (ПДК) на покритите образци при потенциал на външна поляризация, изменящ се в границите от -600 mV до +1200 mV със скорост 1mV/s. За целта е използван стандартен наситен каломелов електрод (НКЕ) с потенциал +0.245 V и дигитален мултиметър LAMAR M3900 (фиг.3.5). Стойностите на потенциала се отчитат при 15'', 30'', 45'', 1', 2', 5', 7', 10', 15', 30', 45', 60', 75',

90°, 105°, 120°. Измерванията се извършват при стайна температура. Стойностите на измерения по отношение на наситения каломелов електрод потенциал E_{HKE} се привеждат към потенциал по отношение на нормален водороден електрод E_{HBE} по формулата: $E_{HBE} = E_{HKE} + 0.245, mV$.

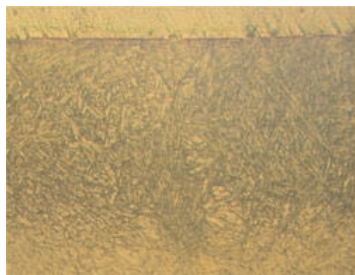
С помощта на програмния продукт EXEL се построяват зависимостите $E = f(t)$ и се отчитат стационарните потенциали.

Снемането на потенциодинамичните поляризационни криви се извършва чрез използване на триелектродна схема, съставена от стандартен каломелов електрод, платинов противоелектрод и изследваната проба –анод. Външният потенциал е задаван с потенциостат RADELKIS-OH-405. Оригиналните потенциодинамични криви се изчертават от X-Y RECORDER в координати ток I – потенциал на външна поляризация E .

В напречния шлиф на азотирана и с нанесено покритие стомана 4Х5МФС ясно се различава покритието от TiN и свързаната карбонитридна зона, отделена с линейна граница от дифузионната зона (фиг.4.1 – 4.5). Последната се разграничава от основния метал като по-силно проявен слой с мартензитоподобна структура. Неазотираната стомана показва по-дребнозърнеста и еднородна структура .



Фигура 1. Микроструктура в напречен шлиф на азотирана по режим 2 стомана 4Х5МФС с покритие от TiN, Обр. 207х1000



Фигура 2. Микроструктура в напречен шлиф на азотирана по режим 4 стомана 4Х5МФС с покритие от TiN, Обр. 224х500



Фигура 3. Микроструктура в напречен шлиф на стомана 4Х5МФС с многослойно покритие от азотиран Ti по режим 3 и TiN, Обр. 206х1000

В титановия подслоя на многослойното покритие върху проба 206 се открояват два подслоя с различна концентрация на азот: външен, който, най-вероятно, е твърд разтвор на азот в Ti и вътрешен, в който не е дифундирал азот или външен TiN и вътрешен – твърд разтвор на N вTi. В табл.2. е показана дебелината на двата подслоя на нитридния слой $[TiN + (Fe,Me)_3N]$, както и дебелината на дифузионната зона. Дебелината на дифузионната зона нараства при повишаване на температурните режими 2 и 4, а така също и при промяна на отношението от H_2/N_2 . В по-бедната на азот среда се получава по-дебела дифузионна зона.

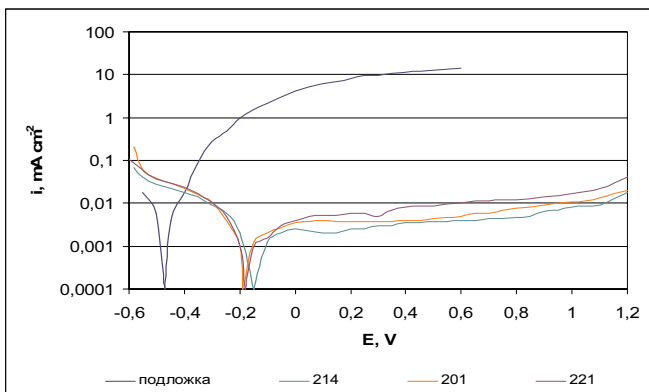
Таблица 2. Дебелина на модифицирания слой на стомана 4X5МФС

Режим на азотиране	Проба № / покрытие	Обща дебелина на нитридния слой, μm	Дебелина на дифузионната зона, μm
p.1 $\text{N}_2/\text{H}_2 = 80/20$; 500°	216 i -N / TiN	3,6 ($\epsilon + \text{TiN}$)	59,1
p.2 $\text{N}_2/\text{H}_2 = 80/20$; 540°	207 i -N / TiN	3,37 ($\epsilon + \text{TiN}$)	60,9
p.3 $\text{N}_2/\text{H}_2 = 20/80$; 500°	206 Ti - i -N / TiN	3,93 (Ti + TiN)	-
p.4 $\text{N}_2/\text{H}_2 = 20/80$; 540°	224 i -N / TiN	3,6 ($\epsilon + \text{TiN}$)	73-

Електрохимичното поведение на стоманата е изследвано преди и след азотиране в 0,1 n разтвор на Na_2SO_4 и получените характеристики са обобщени в табл. 3. Фиг. 4. обобщава потенциодинамичните криви на анодна поляризация на азотирана по различни режими стомана без покритие като за сравнение е показана и кривата на неазотирана стомана (подложка). Режимът на азотиране не оказва забележимо влияние на поведението при външна поляризация. Азотирането намалява на 3 порядъка стойността на плътността на анодния ток, пропорционална на скоростта на корозия, премества потенциала на корозия с около 0,3 V в положителна посока и променя поведението на стоманата от активно разтваряне към самопасивиране.

На фиг. фиг.5 и 6 са показани зависимостите „свободен потенциал – време” или т.нар. „хронограми” на изследваните проби от стомана 4X5МФС след различна повърхностна обработка. Стойностите на потенциала на подложката (фиг.5) са силно отместени в отрицателна посока и показват най-голяма промяна с увеличаване времето на престой в електролита.

Това е типично поведение на метали в разтвори, нямащи окислителни свойства, т.е. в които не се наблюдава пасивиране. $E_{\text{стац}}$ на стоманата е силноотрицателен (табл.4.) -0,543 V, докато за повърхностно обработените проби стойността му е в границите $+0,155 \div +0,334$ V.

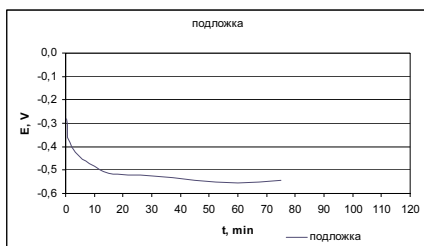


Фиг. 4. ПДК в 0,1 n Na_2SO_4 на стомана 4X5МФС: закалена и отвърната (подложка); азотирана по режими 1 (214), 3 (201) и 4 (221)

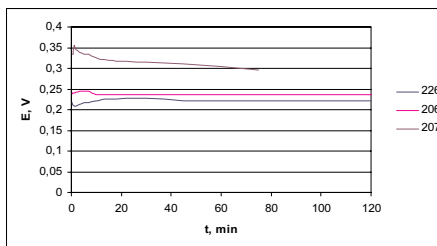
Таблица 3. Електрохимични характеристики на стомана 4Х5МФС преди и след азотиране

Режим на йонно азотиране	№	$E_{\text{стац}} [V]$ спрямо НВЕ	$E_{\text{кор}} [V]$ НВЕ	$E_{\text{тр.пас}} [V]$ НВЕ	Поведение
4Х5МФС неазотирана	-	-0,543	-0,48		Активно разтваряне
p.1 $N_2/H_2 = 80/20 ; 500^{\circ}$	214	+0.215	-0,15	1,05	Самопасивирана
p.2 $N_2/H_2 = 80/20 ; 540^{\circ}$	202	+0,194-	-0,2	0,95	Самопасивирана
p.3 $N_2/H_2 = 20/80 ; 500^{\circ}$	201	+0.085	-0,2-	0,88	Самопасивирана
p.4 $N_2/H_2 = 20/80 ; 540^{\circ}$	221	+0.046	-0,18	1,09	Самопасивирана

Следователно комбинираната повърхностна обработка рязко повишава термодинамичната устойчивост на стоманата.



Фиг. 5. Зависимост на свободния потенциал от времето на престой в 3 % -ен р-р на NaCl на стомана 4Х5МФС.

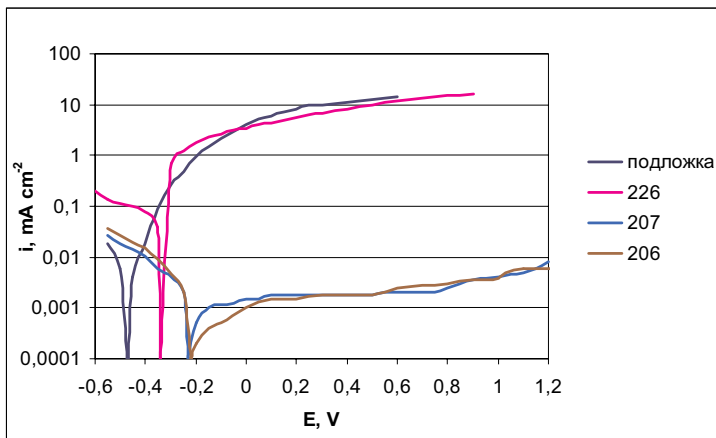


Фиг. 6. Зависимост на свободния потенциал от времето на престой в 3 % NaCl на стомана 4Х5МФС: неазотирана с покритие от TiN (226); азотирана по режим 2 с покритие TiN (207); с двуслойно покритие - азотиран по режим 2 Ti и нанесено върху него покритие TiN (206)

Азотираните проби с неразрушено покритие TiN имат много близки стойности на $E_{\text{ст}}$ независимо дали то е отложено върху азотиран титанов подслои или върху свързаната зона на азотираната стомана (виж проби 206 – без Ti - покритие и 207 с Ti - покритие, азотирани по режим 2). Нарушаването на целостта на покритието измества $E_{\text{ст}}$ в отрицателна посока без да се достигат отрицателни стойности, което се дължи на по-еднородната структура на слоя под покритието и поради това, на добрите му защитни свойства. Най-висок потенциал показва пробата 207, която е азотирана по режим 2 ($T = 540^{\circ}\text{C}$ и съотношение $N_2/H_2 = 80/20$) и покрита с TiN, а най – нисък е потенциалът на проба 224, азотирана по режим 4 ($T = 540^{\circ}\text{C}$ и съотношение $N_2/H_2 = 20/80$). Разликата се дължи на различната адхезия на покритието от TiN – върху проба 224 покритието е с нарушена цялост (частично изронено).

Поведението при външна поляризация в 3 % NaCl на стомана 4Х5МФС след различна повърхностна обработка е илюстрирано от фиг. 7 и е обобщено в табл. 4. Потенциодинамичните анодни криви на подложката без покритие и с покритие от TiN (проба 226) са характерни за активно кородиращ метал. Плътността на анодния ток достига стойности над 10 mA. Следователно, при дебелина $\leq 3 \mu\text{m}$ покритието не притежава защитни свойства.

На фиг. 7 са съпоставени и потенциодинамичните анодни криви на стомана 4Х5МФС азотирана по режим 2 с покритие TiN (проба 207) и с азотиран по режим 2 титанов слой и допълнително нанесено покритие от TiN (проба 206). Двете криви са много близки. Плътността на анодния ток почти не се променя при увеличаване на анодната поляризация от 0 V до + 0,6 V, а след този потенциал слабо нараства, което показва, че няма пробив в защитното покритие и не се развива питингова корозия. Повърхността е самопасивирана дори в 3 % NaCl, който е по-агресивна корозионна среда от 0,1 n Na₂SO₄.



Фиг. 7. ПДК в 3 % NaCl на стомана 4Х5МФС: закалена и отвърната (подложка); азотирана по режими 2 и покрита с TiN (207) и с покритие от азотиран по режим; 4Х5МФС (неазотирана) с покритие от TiN (проба 226)

Таблица 4. Електрохимични характеристики на стомана 4Х5МФС с покритие TiN

Проба	$E_{\text{стац.}}, [V]$ спрямо НВЕ	$E_{\text{кор.}}, [V]$ НВЕ	$E_{\text{тр.пас.}}, [V]$ НВЕ	Поведение в 3 % NaCl	Режим на йонно азотиране	Покритие
4Х5МФС	-0.543	-0.48		Активно разтваряне		
216*		-0,24	+ 0,6	Затруднено анодно разтваряне	p.1 N2/H2 500° 80/20	TiN
210	+ 0, 247	-0,23	+ 0, 9	самопасивирана	p.1 N2/H2 500° 80/20	Ti + TiN
207	+ 0, 245	-0,24	+0,97	самопасивирана	p.2 N2/H2 540° 80/20	TiN
206	+ 0, 232 + 0, 248	-0,22	+ 0,8	самопасивирана	p.2 N2/H2 540° 80/20	Ti + TiN
224*	+0,117	- 0,24	+ 0,2	Затруднено анодно разтваряне	p.4 N2/H2 540° 20/80	TiN
226	+ 0, 221	-0,34	----	Активно разтваряне	неазотирана	TiN

Забележка: *- означава частично отслоено покритие.

Следователно, допълнителната повърхностна обработка – нанасяне на покритие от TiN (проба 207) намалява с още около порядък стойността на плътността на тока на корозия – i_a е под $0,002 \text{ mA cm}^{-2}$ до дълбочина на поляризация $+0,6 \text{ V}$.

Аналогично е и поведението на стомана с многослойно покритие от азотиран титан и TiN (проба 206).

ИЗВОДИ

1. Азотираният слой на стомана 4X5МФС съдържа свързана зона, изградена основно от фазата $(\text{Fe},\text{M})_3\text{N} - \epsilon$.

2. Покритието от Ti с дебелина $3 \text{ }\mu\text{m}$ представлява бариерен слой за азотиране на стомана 4X5МФС при избраните условия ($T = 500$ и 540°C , продължителност 3 h).

3. Покритието от TiN, нанесено върху азотирана стомана и върху азотиран титанов подслой не показва достатъчна адхезия.

4. Режимът на азотиране не оказва забележимо влияние върху електрохимичните характеристики на стомана 4X5МФС.

5. Покритието от TiN върху неазотирана стомана не притежава защитни свойства при дебелина $\leq 3 \text{ }\mu\text{m}$.

6. Комбинираната повърхностна обработка - азотиране в съчетание с покритие от TiN, повлиява по-благоприятно корозионното поведение на стомана 4X5МФС поради това, че защитните свойства на покритието се допълват от защитната способност на равномерната и еднородна по структура свързана зона на азотиран слой.

7. Комбинираната повърхностна обработка, състояща се от азотиране в тлеещ разряд при температури $500 - 540^\circ\text{C}$ в смес от азот и водород (80/20 или 20/80) с продължителност 3 часа и отлагане на тънко покритие от TiN, осигурява понижаване на скоростта на корозия в 3 % -ен воден разтвор на NaCl на 3 порядъка.

Благодарности

Изследването е осъществено с подкрепата ФНИ на РУ „А. Кънчев“ по договор № 2010 – МТФ – 02.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бучков, Д. И Тошков, В., Йонно азотиране, ДИ „Техника“, София, 1999 г.
- [2] Кънев М. и др. Вакуумно метализиране .Техника. София , 1986 г.
- [3] Обзор , „XI Конгрес на международното общество по ТО и Инженерии повърхности“, М и ТОМ , 7 , 1999г.
- [4] Шишков Р. , „Вакуумно –дифузионно метализиране“, дисертация за Д.Т.Н, РУ А. Кънчев“, Русе 2004г.
- [5] J Ratajki , Surface & Coatings Thencology 203, (2009), 2300-2306.
- [6] Baek, Woon-Seung, Sik-Chol Kwon et al., A study of the interfacial structure between the TiN film and the iron nitrided layer in a duplex plasma surface treatment, Surface & Coat. Techn., 114 (1999) 94 – 100.
- [7] Rocha, L.A., E. Ariza et al., Structural and corrosion behaviour of stoichiometric and substoichiometric TiN thin films, Surface & Coat. Techn., 180-181 (2004) 158 – 163.

За контакти:

Доц. д-р Диана Цанева, Катедра “Материалознание и технология на материалите”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 307, e-mail: dvc@uni-ruse.bg

Структура и свойства на многослойни покрития Cr-N/Cr-C/Cr, отложени върху стомана 9ХС

автор: Милен Христов

научен ръководител: ас. маг. инж. Мариана Илиева

Structure and properties of multilayered Cr-N/Cr-C/Cr coatings, deposited onto 9CrSi steel: Cr-N/Cr-C/Cr coatings have been deposited at three different temperatures by reactive magnetron sputtering. The microstructure of coatings has been studied using optical microscopy on cross sections of coated samples. Coatings phase composition was determined via X-ray diffraction analysis. Microhardness and coatings thickness were measured on cross sections. A correlation between coatings thickness and hardness and deposition temperature is found.

Key words: multilayered coatings; reactive magnetron sputtering; microhardness ;X-ray diffraction.

ВЪВЕДЕНИЕ

За подобряване на функционалните свойства, (износоустойчивост, твърдост, топлоустойчивост, корозионна устойчивост) на конструкционните и инструменталните материали се използват различни видове покрития. За получаване на покритие с желани свойства, основна роля имат методът и параметрите на отлагане на покритието. Те определят структурата и свойствата му, както и връзката покритие - подложка. През последните две десетилетия усилено се изследват вакуумно отложени покрития, съдържащи хромови нитриди, карбиди и карбонитриди като алтернатива на покритията от TiN и (Ti , Al)N и на твърдите хромови покрития, нанесени от електролити. В работи [1, 2, 3, 4, 5] покритията от Cr - N са обсъждани като алтернатива на покритията от Ti-нитрид и е изследвано влиянието на параметрите на отлагане върху структурата и свойствата им, като са разгледани условията за формиране на хромовите нитриди CrN и Cr₂N. За покрития от системата Cr-C се намират по-малко съобщения в научната литература. Карбидни слоеве се получават при химикотермично обработване - хромиране на стомани [6] с високо въглеродно съдържание. Те притежават висока твърдост и обикновено са изградени от 3 слоя: на повърхността Cr₂N, към стоманата Cr₇C₃ и между тях Cr₂₃C₆. В настоящата работа са разгледани структурата и свойствата на многослойни покрития Cr-N/Cr-C/Cr, отложени върху стомана 9ХС.

Методика на експеримента

Отлагане на покритията. Покритията Cr-N/Cr-C/Cr са отложени върху цилиндрични подложки от стомана 9ХС чрез реакционно магнетронно разпръскване на хромова мишена с чистота 99,99% във вакуумна експериментална пещ ВЕП –1. Хромовите слоеве Cr са отлагани в аргонов тлеещ разряд в продължение на 10 мин. За получаване на карбидните Cr-C и нитридните Cr-N слоеве в камерата са натичани съответно метан и азот по 40 мин. за всеки реакционен газ. Подложките по време на отлагане на покритията са разположени на разстояние от мишената L_{t-s} 70 mm и 95 mm. В таблица 1 са описани режимите на нанасяне на покритията с редуване на работната атмосфера.

Таблица 1

Режими на нанасяне на покритията T_d – температура на отлагане на покритията

Режим	Покритие	T _d , °C	P _{нач.} , mbar	P _d , mbar	U, V	I, A
2.0	Cr-N/Cr-C/Cr	450	9.1*10 ⁻⁴	9.2*10 ⁻³ /8.8*10 ⁻³ /8.3*10 ⁻³	400÷410	62÷6.4
2.2	Cr-N/Cr-C/Cr	550	6.3*10 ⁻⁴	9.2*10 ⁻³ /9.2*10 ⁻³ /8.5*10 ⁻³	400÷440	6÷6.5
2.7	Cr-N/Cr-C/Cr	650	6.5*10 ⁻⁴	1.07*10 ⁻² /1.02*10 ⁻² /1*10 ⁻²	390÷410	6÷6.5

Методи за изследване на покритията За измерване на дебелината на изследваните от нас покрития са изготвени напречни микрошлифове. Измерването на дебелините на покритията от Cr-N/Cr-C/Cr е извършено с помощта на металографски микроскоп ЕРУТИРЕ 2 с окуляр - микрометър върху напречен шлиф при увеличения 750 и 1500 пъти. Със същия микроскоп е изследвана и микроструктурата на покритите образци след проявяване с модифициран реактив на Мураками* (10 g NaOH ; 10g K₃Fe(CN)₆; 100 ml H₂O, [7, 8, 9]) с удвоено количество на червената кръвна сол. Твърдостите на покритията са измерени с помощта на микротвърдомер ПМТ-3 върху напречни микрошлифове при натоварвания 20 и 50 kgf. Фазовият състав на покритията е определен чрез рентгеноструктурен анализ, извършен с рентгенов дифрактометър URD – 6 с железен катод.

Резултати и дискусия На фигура 1 е показана микроструктурата на образец с покритие, отложено при 550°C след проявяване за 60 s с модифицирания реактив на Мураками*. Структурата на стоманата е зърнест перлит. След престой в горещия



Фигура 1. Cr-N/Cr-C/Cr//9XC T = 550°C
(обр.2.2.3) след 60 s Мураками*

реактив покритието се разслоява контрастно на трите слоя. Очертават се дефекти, които представляват внедрени поликристални частици, открити от мишената в процеса на износването и при разпрашване. Над тях израства покритието, като се образуват области с конусовидна форма, разширена към повърхността. Хромовият подслоя остава светъл и непроявен, карбидният слой потъмнява, а нитридният

слой става по-релефен. Може да се предположи, че нитридният слой е с множество пори, запълнени с излишък от нереагирал азот. Подобна микроструктура показват и останалите проби с покрития.

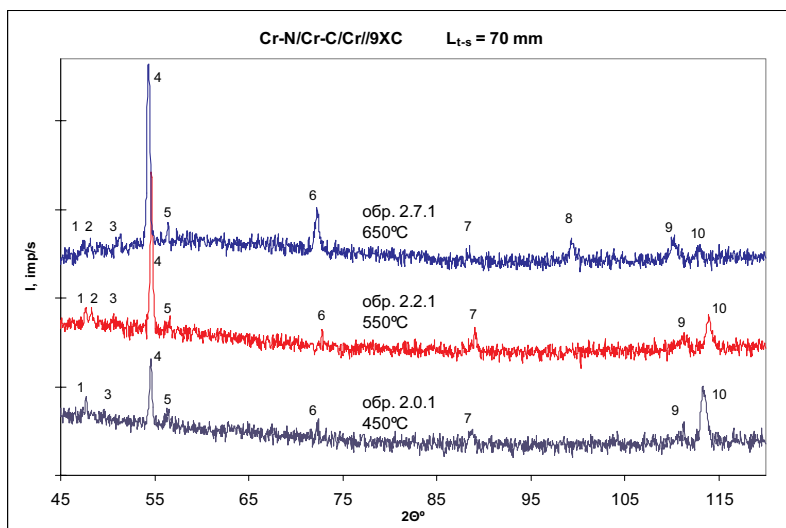
Таблица 2. Дебелини на покритията δ_2 - външен слой; δ_1 - среден слой; δ_{Cr} - вътрешен слой.

Температура на отлагане, °C	Покритие/подслой	Долно ниво L _{t-s} = 95 mm		Горно ниво L _{t-s} = 70 mm	
		Образец №	Дебелина, μ m	Образец №	Дебелина, μ m
650	Общо	2.7.7	8,19	2.7.2	12,76
	δ_2 Cr-N		3,66		5,35
	δ_1 Cr-C		2,87		5,11
	δ_{Cr} Cr		1,66		2,3
550	Общо	2.2.7	8,70	2.2.3	14,89
	δ_2 Cr-N		3,70		6,59
	δ_1 Cr-C		4,44		6,19
	δ_{Cr} Cr		0,55		2,11
450	Общо	2.0.7	11,94	2.0.4	16,39
	δ_2 Cr-N		5,09		7,22
	δ_1 Cr-C		4,81		6,62
	δ_{Cr} Cr		2,03		2,45

Резултатите от измерването на дебелините на покритията, отложени при двете разстояния „мишена – подложка“ и при трите различни температури, са обобщени в таблица 2.

Сравнението между общите дебелини показва, че при повишаване на температурата във вакуумната пещ се отлагат по-тънки покрития. Този резултат се дължи на склонността на хрома да сублимира при повишаване на температурата на кристален хром над 1090 °C при работното налягане в камерата поради това, че поддържа високо налягане на наситените пари над кристала [6]. Разстоянието „мишена – подложка“ също оказва забележимо влияние върху дебелината, като с увеличаване на разстоянието от 70 mm - 95 mm дебелината намалява с около 35 %. Това е логично, тъй като потокът от разпрасени атоми се разпространява под мишената в непрекъснато разширяващ се поток и броят на атомите, попадащи върху единица повърхност от подложката, намалява с увеличаване на разстоянието от мишената т.е. скоростта на кондензация намалява.

На фигура 2 са показани рентгенограми на образци с покрития, получени при разстояние „мишена – подложка“ 70 mm, а в таблица 3 са показани стойностите на измерените и теоретичните ъгли на отражение и съответстващите им междуплоскостни разстояния за възможните фази. Върху рентгенограмите на всички образци с покрития Cr-N/Cr-C/Cr, слабо изразен, присъства 100%-ният пик на фазата Cr (линия 5).



Фигура 2. Рентгенограми на образци с покрития, отложени при $L_{t-s} = 70$ mm

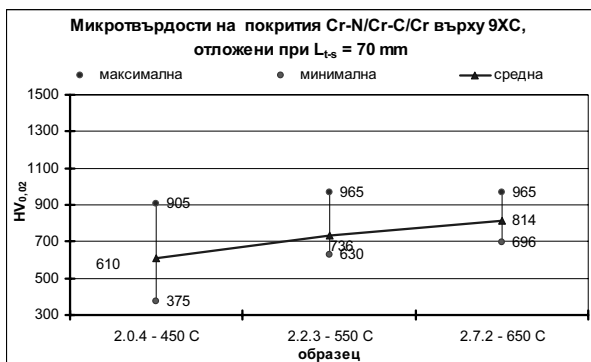
Нитридът Cr_2N дава няколко отражения върху всички рентгенограми, като теоретично най-силното по направление (111) (линия 4) повишава интензитета си при нарастване на температурата на отлагане. Линия 10 представлява другата теоретично най-силна линия на Cr_2N по направление (211). Съотношението между измерените интензитети на линия 4 (111) и линия 10 (211) показва, че при по-ниските температури на отлагане областите от покритията, изградени от Cr_2N , са текстурирани по направление (211), докато повишението на температурата до 650°C води до предпочитана ориентация по направление (111). Карбонитридната фаза

$\text{Cr}_2(\text{C},\text{N})$ също показва няколко отражения - линии 3, 6, 8 и 9. От тези линии само първата не е дублирана с линия на Cr_2N . Според допълнително извършен GDOES-анализ $\text{Cr}_2(\text{C},\text{N})$ участва в структурата на покритията, а съдържанието на въглерод в него, както и делът на $\text{Cr}_2(\text{C},\text{N})$ в слоевете, се увеличават при повишаване на температурата на отлагане. Върху рентгенограмите това се изразява с по-силни измерени интензитети на линии 3, 6, 8 и 9 за покритията, получени при по-високите температури. Повишените концентрации на въглерод водят до формирането на Cr_{23}C_6 или $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ в покритията, получени при 550°C и 650°C , и се потвърждават от появата на линии на най-нисковъглеродния карбид – линия 2 върху рентгенограмите на пробите, обработени при двете по-високи температури. Определеният по такъв начин фазов състав на покритията включва фазите Cr_2N в нитридните слоеве, и Cr , $\text{Cr}_2(\text{C},\text{N})$ и Cr_{23}C_6 в карбидните.

Таблица 3

Данни от XRD на образци с Cr-N/Cr-C/Cr покрития върху стомана 9XC $L_{\text{т-с}} = 70 \text{ mm}$										
№	Обр. 2.0.1 $T_d = 450^\circ\text{C}$		Обр. 2.2.1 $T_d = 550^\circ\text{C}$		Обр. 2.7.1 $T_d = 650^\circ\text{C}$		Таблични данни			
	$2\theta_{\text{изм.}}$, °	$d_{\text{изм.}}$, Å	$2\theta_{\text{изм.}}$, °	$d_{\text{изм.}}$, Å	$2\theta_{\text{изм.}}$, °	$d_{\text{изм.}}$, Å	$2\theta_{\text{теор.}}$, °	$d_{\text{теор.}}$, Å	$I_{\text{теор.}}$, %	Фаза
1	47.70	2.3941	47.75	2.3917	47.55	2.4012	47.58	2.4000	36	Cr_2N
2			48.30	2.3660	48.20	2.3707	48.09	2.3835	20	Cr_{23}C_6
3	49.80	2.2991	50.90	2.2527	51.40	2.2322	51.704	2.2200	33	$\text{Cr}_2\text{N}_{0.39}\text{C}_{0.61}$
4	54.60	2.1106	54.65	2.1038	54.35	2.1196	55.08	2.0937	100	Cr_2N
5	56.55	2.0435	56.60	2.0419	56.50	2.0452	56.66	2.0399	100	Cr
6	72.40	1.6390	72.85	1.6303	72.40	1.6390	72.35	1.6400	71	$\text{Cr}_2\text{N}_{0.39}\text{C}_{0.61}$
							72.45	1.6380	71	Cr_2N
7	88.60	1.3860	89.10	1.3799	88.50	1.3873	88.34	1.3892	23	Cr_2N
							88.46	1.3877	1	Cr_{23}C_6
							99.360	1.2696	22	Cr_2N
8					99.30	1.2702	99.963	1.2640	93	$\text{Cr}_2\text{N}_{0.39}\text{C}_{0.61}$
							110.38	1.1790	98	Cr_2N
							110.55	1.1777	30	Cr
9	111.35	1.1722	111.60	1.1704	110.25	1.1799	110.80	1.1760	100	$\text{Cr}_2\text{N}_{0.39}\text{C}_{0.61}$
							111.00	1.1777	30	Cr
10	113.50	1.1575	113.95	1.1546	113.18	1.1596	113.12	1.1600	80	Cr_2N

Микротвърдостта на покритията е измерена по метода на Викерс с натоварване 0,02 и 0,05 kg. в напречен шлиф. Стойностите са осреднени за трите



Фигура 3

слоя, тъй като отпечатъците в много случаи попадат в два съседни подслоя. Получените стойности са обобщени на фигури 3 и 4. Максимална стойност $1100 \text{ HV}_{0,02}$ е измерена за покритие 2.7.7 отложено при 650°C – долно ниво. Съгласно [6] твърдостта на карбидните фази на хрома зависи не само от вида на карбида, но и от концентрацията на

разтворено желязо, въглерод и други елементи в него. В [6] е показано, че твърдостта на слоя Cr-N може да варира от 1090 ÷ 1600 HV, на слоя Cr-C от 1645 до 2000HV, на $\alpha(\text{Cr,Fe})$ - 300÷350HV и на сместа $\alpha(\text{Cr,Fe}) + \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ – 580HV. Измерените от нас твърдости са по-ниски от очакваните за нитридните и карбидните фази. Както показват микроструктурният и рентгеноструктурният анализи, всички слоеве на покритията Cr//Cr-C//Cr-N са многокомпонентни по състав в резултат на насрещна дифузия на компонентите от покритието в подложката и обратно, както и между различните слоеве в покритията и са с многофазна структура. В карбидните слоеве присъства фаза Cr, а в нитридните – нереагирал азот. Това е причина за ниската средна твърдост. В по-тънките покрития дифузията води до по-пълно преразпределение на компонентите и оттам до по-малко обемно количество на карбидна и нитридна фази в структурата им, особено при най-ниската температура на отлагане. Това съображение би могло да обясни ниската стойност на твърдостта на проба 2.0.7. Въпреки че измерването се извършва в напречен шлиф, то би могло да бъде повлияно и от меката подложка (отпечатъците в подложката съответстват на микротвърдост около 200HV_{0,05}). Забелязва се тенденцията за нарастване на микротвърдостта с повишаване на температурата на отлагане (фиг.3 и 4.). Това може да се дължи на уплътняване на нитридният слой в резултат на „изпарение“ на излишъка на азот в порите, на навлизане на повече въглеродни атоми в този слой, запълващи ваканциите в решетката на нитрида и на формиране на карбонитридна фаза. Промени настъпват и в структурата на карбидния слой, който се обогатява на азот, дифундиращ от по-горния нитриден слой и на въглерод, дифундиращ от подложката. Благодарение на това се образуват включения от Cr_{23}C_6 и нараства количеството на карбонитридната фаза за сметка на Cr – фазата.

ИЗВОДИ

1. Нитридните слоеве на покритията са съставени от фазите Cr_2N и N_2 , а карбидните – от Cr, $\text{Cr}_2(\text{C,N})$ и Cr_{23}C_6 .
2. При увеличаване на разстоянието „мишена – подложка“ ($L_{\text{T-S}}$) от 70 до 95 mm дебелината на покритията Cr//Cr-C//Cr-N намалява с около 35 %.
3. При повишаване на температурата на отлагане от 450°C до 650°C дебелината на покритията на малява: за $L_{\text{T-S}} = 70$ mm – от 16,4 до 12,8 μm ; за $L_{\text{T-S}} = 95$ mm – от 12 до 8,2 μm .
4. Твърдостите на отложените покрития са сравними с тези на хромовия карбид (Cr_{23}C_6 - 1650 HV), двухромовия нитрид (Cr_2N - 1571 HV) и карбонитрида $\text{Cr}_2(\text{C,N})$ (от 1500 HV до 1600 HV в зависимост от въглеродното съдържание).
5. Повишаването на температурата на отлагане на покритията между 450°C и 650°C има за резултат увеличаване на микротвърдостта им, свързано с образуване на по-голямо количество от фаза Cr_{23}C_6 и формиране на по-богат на въглерод карбонитрид $\text{Cr}_2(\text{C,N})$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Berg Gunter , C. Fridrich , E. Broszeit
- [2] Zhao Z. B., Rek Z.U., S.M. Yolisove, Bilello J.C. Surface and Coatings Technology 185 , 329-339, 2004.
- [3] Hones.P., Sanjines R., Levy F. Surface and Coatings Technology (94-95) , 398-402, 1997.
- [4] Heau C., Fillet R.Y., Vaux F., Pascaretti F., Surface and Coatings Technology 120-121, 200-205, 1999.
- [5] Logothetidis S., Patsalus P., Sarakinos K., Charitidis C., Metaxa C., Surface and Coatings Technology 180-181 , 637-641, 2004.
- [6] Минкевич, А.Н., "Химикотермическая обработка металлов и сплавов"- „Машиностроение“, М.1965 г.

[7] Беккерт, М., Х. Клемм, Справочник "Способы металло-графического травления", под ред. Н.И.Туркиной, Е.Я.Капучкина, М.,Металлургия 1988.

[8] "Справочное по практическому металловедению", Пилюшенко, В., Б.Винокур, С.Кондратюк, Киев, "Техника" 1984.

[9] Практическое руководство "Микроскопическое исследование металлов", Левин, Е.Е, Москва, "Матшиз" 1955.

За контакти:

Ас. маг. инж. Мариана Илиева, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 307, e-mail: mdilieva@uni-ruse.bg

**РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
“АНГЕЛ КЪНЧЕВ”**



СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ СНС'11

П О К А Н А

**Русе, ул. "Студентска" 8
Русенски университет
"Ангел Кънчев"**

Факултет „Машинно-технологичен“

**СБОРНИК ДОКЛАДИ
на
СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС'10**

Под общата редакция на
доц. д-р Стоян Стоянов

Отговорен редактор:
доц. д-р Ангел Смикаров

Народност българска
Първо издание

Формат: А5
Коли: 3.375
Тираж: 15 бр.

ISSN 1311-3321

Университетски издателски център

<http://conf.uni-ruse.bg/bg/>

Научна конференция на Русенски университет - Windows Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

http://conf.uni-ruse.bg/bg/

Научна конференция на Русенски университет

Русенски университет "АНГЕЛ КЪНЧЕВ"
СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ - РУСЕ

ENGLISH

- Начало
- Покана за участие
- Организатори
- Организационен комитет
- Тематични направления
- Работни езици
- Изисквания към оформлението на докладите
- Публикуване на докладите
- Такса за право на участие
- Фирмено участие
- Срокове
- График на провеждане
- Адрес за кореспонденция
- Телефони за резервация
- Програма на конференцията
- Сборници с доклади**

СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ

- Покана за участие
- Сборници с доклади

"Work, finish, publish" Michael Faraday



НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ

29 - 30.10.2010
ПОСВЕЩАВА СЕ
НА ДЕНЯ НА НАРОДНИТЕ БУДИТЕЛИ

Copyright © 2008-2010

Internet 100%