

ISSN 1311-3321

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

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

СБОРНИК ДОКЛАДИ

на

СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС’08

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ СЕСИИ – СНС’08

PROCEEDINGS

of

the SCIENTIFIC STUDENT SESSION – SSS’08

Русе
Rousse
2008

ISSN 1311-3321

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

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

СБОРНИК ДОКЛАДИ

на

СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС’08

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ СЕСИИ – СНС’08

PROCEEDINGS

of

the SCIENTIFIC STUDENT SESSION – SSS’08

Русе
Rousse
2008

Сборникът включва докладите, изнесени на студентската научна сесия **СНС'08**, 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:**

доц. д-р Христо Белоев – РЕКТОР на РУ

Владислав Димитров – ПРЕДСЕДАТЕЛ на СС

• **Научни секретари:**

доц. д-р Ангел Смикаров – Заместник-ректор на РУ

ASmrikarov@ecs.ru.acad.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 Везиров

vezirov@ru.acad.bg; 082-888 442

Цветелина Василева

cvete@abv.bg

Факултет „Машинно технологичен”

доц. д-р Стоян Стоянов

sgstoyanov@ru.acad.bg; 082-888 572

Зорница Иванова

zori_doli@abv.bg

Факултет „Електротехника, електроника, автоматика”

доц. д-р Русин Цонев

rtzonev@ru.acad.bg; 082-888 379

Надя Антонова

antonowa14@abv.bg

Факултет „Транспортен”

доц. д-р Валентин Иванов

vdivanov@ru.acad.bg; 082-888 373

Иван Калинов

i.kalinov@abv.bg

Факултет „Бизнес и мениджмънт”

доц. д-р Юлияна Попова

jppopova@ru.acad.bg; 082-888 813

Виктория Ангелова

viktoria.angelova88@gmail.com

Факултет „Юридически“

ас. Елица Куманова
derecho@abv.bg; 082-845 281
Антоанета Николаева
mugal@mail.bg

Факултет „Природни науки и образование“

доц. д-р Петър Сигалов
sigalov@ami.ru.acad.bg; 082-888-754
Благовест Николов
blago_nikolov_86@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.	Опитен образец на мобилен робот.....	7
	автор: Калоян Георгиев	
	научен ръководител: инж. Чавдар Костадинов	
2.	Конструктивно и технологично проектирана детали от боеприпаси с CAD/CAM системи.....	13
	автор: Павел Ангелов	
	научен ръководител: гл. ас. Иво Атанасов	
3	Гравирание на текст и изображения с използването на CAD/CAM системи.....	18
	автор: Михаил Ангелов	
	научен ръководител: гл. ас. Иво Атанасов	
4	Проектиране на гърбица за заточна машина с помощта на AUTOCAD.....	23
	автор: Веселин Георгиев	
	научен ръководител: доц. д-р Георги Ненов	
5	Инструмент за довършващо обработване на лагерни втулки чрез повърхностно пластично деформиране.....	28
	автор: Александра Алюшева	
	научен ръководител: доц. д-р Васил Костадинов	
6	Якостен анализ на метална рамка от козирка.....	30
	автор: Александър Пачев	
	научен ръководител: ас. Иво Драганов	
7	Динамика на подвижен двуножов блок при разстъргване на отвори.....	35
	автор: Адриан Петров	
	научен ръководител: ас. Павел Петров	
8	Модели за формообразуване на конструкции, работещи на натиск..	40
	автор: ст. ас. Димитър Велчев	
	научен ръководител: доц. д-р Марко Тодоров	
9	Механични характеристики на многослойни покрития отложени върху стомана 9XC.....	46
	автори: инж. Ваня Захариева, Марияна Иванова	
	научен ръководител: доц. д-р Иван Дерменджиев	
10	Рентгеноструктурен анализ на многослойни Ti/TiN/TiC и Ti/TiC/TiN покрития след термична обработка отложени магнетронно върху стомана 9XC.....	52
	автори: инж. Ваня Захариева, Цветомир Николов	
	научен ръководител: доц. д-р Иван Дерменджиев	
11	Влияние на параметрите на отлагане върху електрохимичните свойства на стомана 08КП с покрития от неръждаема стомана 12X18H9, отложени чрез магнетронно разпрашаване.....	58
	автор: Феим Феимов	
	научни ръководители: ас. Мариана Илиева, доц. д-р Диана Цанева	

- 12 **Влияние на параметрите на нискотемпературното азотиране върху електрохимичните характеристики на неръждаема стомана 316L.....** 63
автор: Радослав Григоров,
научни ръководители: ас. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева
- 13 **Електрохимично поведение на стомана 9XC с отложени многослойни Cr- C/Cr- N покрития.....** 68
автор: Илиян Иванов
научни ръководители: ас. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева
- 14 **Сравнително изследване на корозионно защитните свойства на многослойни покрития на основа TiN/TiC върху стомана 9XC.....** 73
автор: Анелия Андреева,
научни ръководители: ас. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева

Опитен образец на мобилен робот

автор: Калоян Георгиев

научен ръководител: маг. инж. Чавдар Костадинов

Experimental model of mobile robot: В статията е представен модел на опитен образец на мобилен робот. Разгледана е конструкцията на механичната му част. Показана е връзката на сензорите на робота с управляващия компютър. Дадени са блоковете за управление в автоматичен и ръчен режим на работа

Key words: mobile robot, gripper, system control.

В настоящата работа е представен идеен проект на робот, осигуряващ изпълнението на сравнително прости команди. Целта е разработване на конструкция и система за управление, които да бъдат подходящи за изследване и обучение на студенти в лабораторни условия.

Мобилен роботика се смята за новото лице на роботиката [1]. Нейното развитие е изключително динамично. В стремежа да се постигне висока мобилност при управяването двигателни устройства, се прави нов прочит и приложение на известни и нови механизми.

„Няма нищо ново на този свят“ е казал Джек Лондон, но трябва да добавим, че светът се променя и модерните технологии навлизат в нашия бит. Никой преди 30 години не е предполагал, че ще носи в джоба си радиостанция или както е по-известна сега – мобилен телефон (GSM). От дълбините на океана до космоса, ЧОВЕКЪТ е заменен от робот, но само физически, не и духовно, защото човекът придобива възможността да изследва, да се учи, да открие отговорите на въпросите: „Има ли живот на Марс?“, „Какъв живот съществува в Марианската падина?“ „Има ли оцелели в бушуващ пожар?“ и много други. Това са все места, носещи риск за живота му. Как да се намали този риск? Робот снабден с необходимите сензори и манипулатори е едно от решенията [2].

На фиг.1 е показан 3D модел на разработвания мобилен робот. Моделът е правен на SolidWorks. На шасито 1 странично са закрепени по две двойки гъсенични вериги. Основното движение се осигурява от вериги 2 и 9. Спомагателното движение служи за преодоляване на препятствия и се реализира от вериги 5 и 8. Всяка двойка вериги основна – спомагателна се задвижва с един двигател. Редукцията на честотата на въртене на задвижващите валове е реализирана чрез ремъчни предавки (фиг. 2).

Роботът е снабден с два манипулатора ляв 3 и десен 4 (фиг.1). Всеки от тях има хващач, съответно ляв 7 и десен 6. По принцип хващачите могат да имат различни по вид челюсти, с което се разширява обхвата на манипулираните обекти.

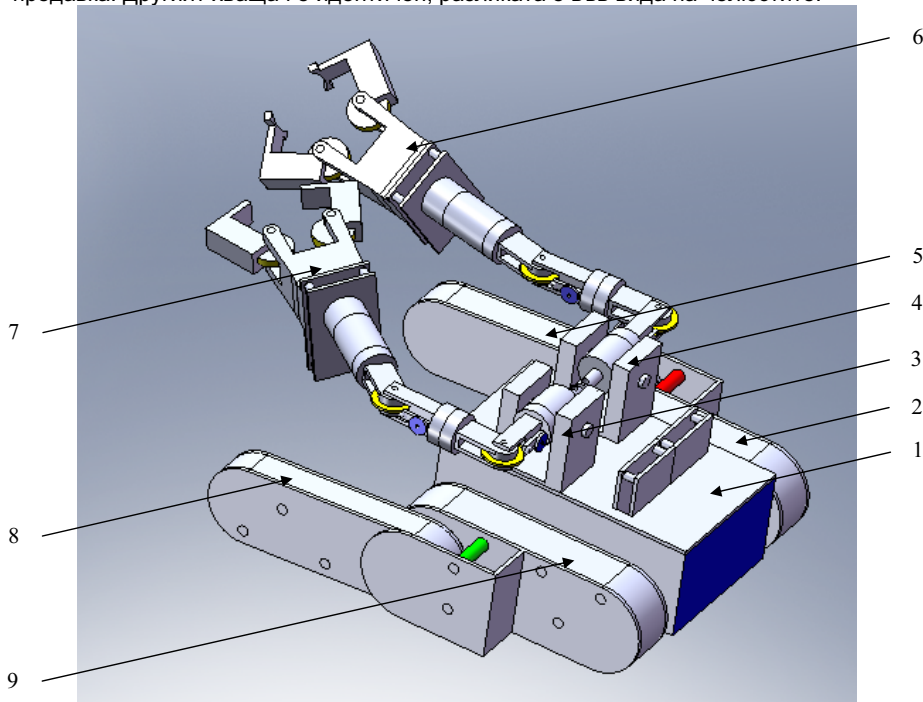
Задвижването на веригата става чрез вал 3 (фиг.2). Честотата на въртене на вала на двигателя е 4000 об/мин и трябва да бъдат намалена до 1,2 об/мин. Това осигурява скорост на придвижване от 0.1m/s.

Механизмът за повдигане на спомагателните вериги при преодоляване на препятствия е представен на фиг. 3. Завъртането на вала 1 става посредством лостовия механизъм 2 [3, 4], който се задвижва от двигател 6 и предавка винт-гайка, 5-3. Гайката е осигурена срещу превъртане от направляващите 4. Така постъпателното движение на гайката се преобразува във въртливо на вала 1 и се осигурява съответното повдигане на спомагателните вериги.

Завъртането на подвижната част на манипулатора се осъществява с помощта на червячна предавка фиг. 4. Двигателят задвижва ремъчната шайба R1, а тя – шайба R2, посредством ремък.

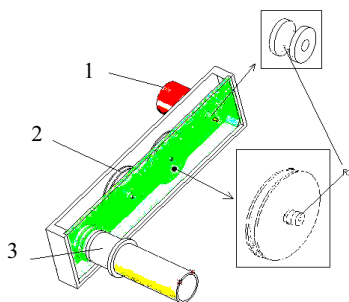
Единият хващач на робота е представен на фиг. 5. Челюстите 2 се задвижват с

помощта на червяк [5]. Той от своя страна се задвижва от двигател 1 чрез ремъчна предавка. Другият хващач е идентичен, разликата е във вида на челюстите.



Фиг.1 Опитен образец на мобилен робот – общ изглед

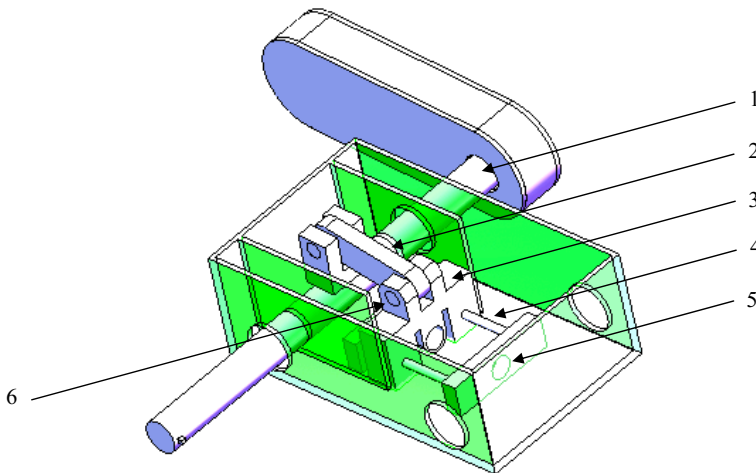
Опитният модел на мобилния робот е предназначен да работи в автоматичен и ръчен режим. На този етап на разработка на изделието е предвидено моделът да бъде свързан с управляващия компютър, посредством кабели (фиг. 6). Информацията от сензорите по робота през LPT порт постъпва в компютъра. Там тя се обработва и визуализира, в зависимост от избрания режим на работа.



Фиг. 2 Редуктор на основното задвижване

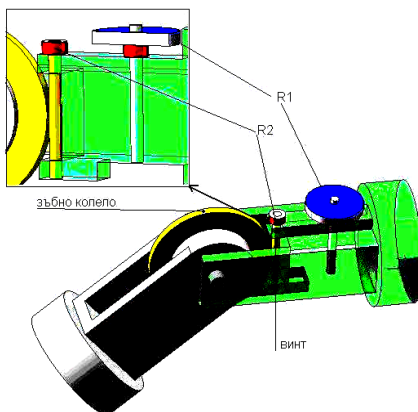
Правата връзка е реализирана чрез паралелния (принтерния) порт. Чрез нея се

осъществява управлението на двигателите. Разделят се 8 изхода (от 2 до 9 pin) на 2 адресни шини по 4 bit. Сигналът от тях се подава на дешифратор [6], който има 4 входа и 16 изхода. За реверсиране на движението на текущо работещия двигател се използва D-тригер, чрез сигнал по 16-я адрес. Управлението е по двойка двигатели, работещи едновременно.



Фиг. 3 Механизъм за повдигане на спомагателните вериги

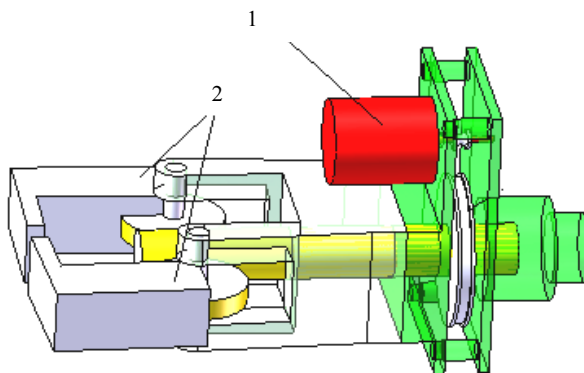
Чрез обратната връзка се предава информация от фоторастерните преобразователи (ФРП), които се използват за определяне на положението на робота. Роботът е снабден с две камери – една на единия хващач и една в предната част на робота. Предвидено е монтирането на лазер, чрез който може да се определя разстоянието от робота до обекта.



Фиг.4 Механизъм за завъртане на манипулатора

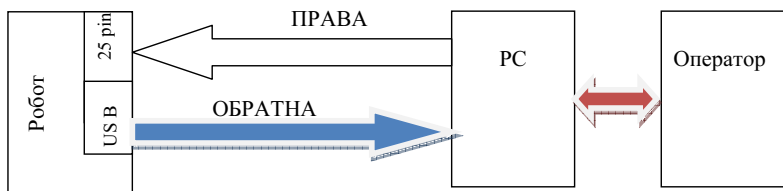
При ръчен режим на работа операторът въвежда координатите на точка за достигане, единствено като следи получената информация от ФРП и видео изображението от камерите.

При автоматичен режим на работа (фиг. 7), операторът въвежда задачата чрез клавиатурата на компютъра. Програмата търси съответствие с други думи в базата данни [7]. Ако няма намерено такова, иска се уточняване на задачата. Ако бъде намерено съответствие, проверява се дали, то е свързано с действие. Ако няма информация за действие се извежда намерената информация за обекта.



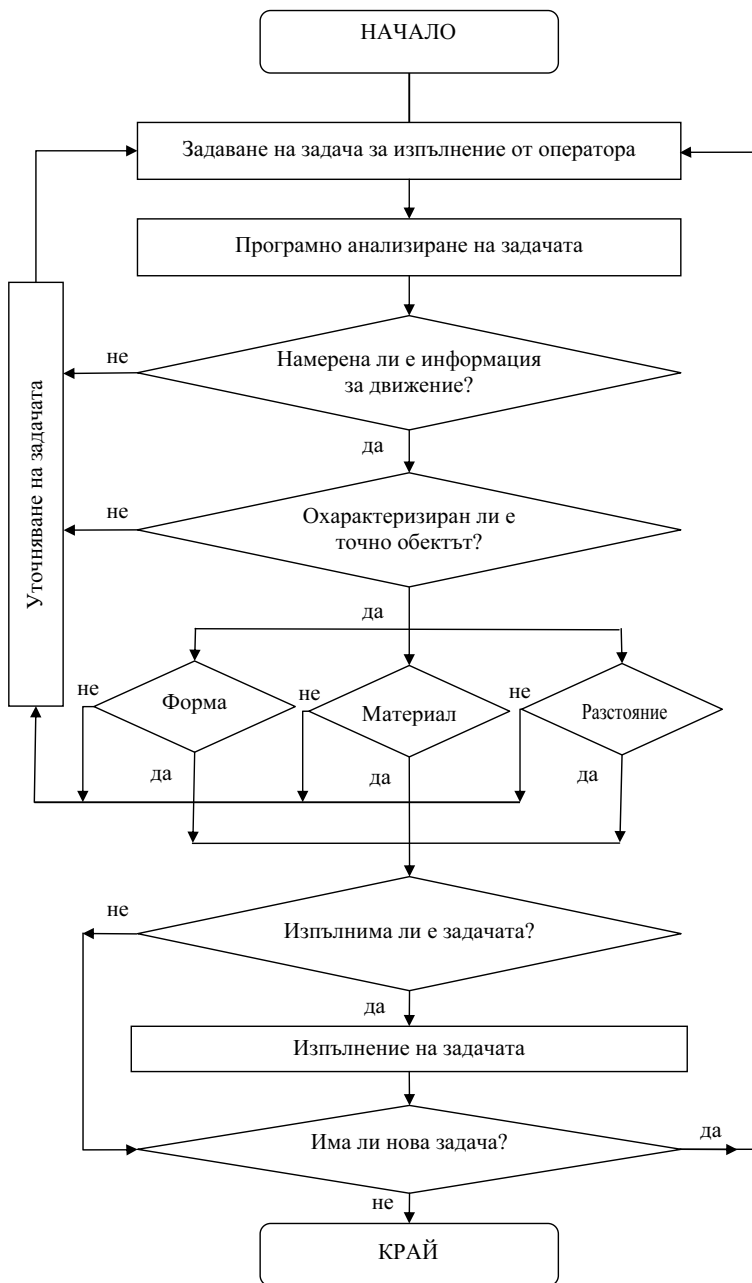
Фиг. 5 Хващач

При наличие на информация за действие се преминава към определяне на характеристиките на обекта: форма, материал и разстояние. Относно формата се анализира дали обектът може да бъде хванат с наличните хващачи. Необходимо е уточняване на материала на обекта – твърд, мек, крехък или течност. От разстоянието зависи дали може да бъде достигнат обекта. Ако обектът може да бъде хванат, определен е видът на материала му и разстоянието до него, следва да се определи дали задачата е изпълнима. Ако тя е изпълнима се преминава към нейната реализация, като се следи за препятствия по време на изпълнението.



Фиг. 6 Човеко-машинен интерфейс на мобилния робот

При невъзможност за изпълнение на задачата се преминава към проверка „Има ли нова задача?“. Ако няма, то следва край на работата на робота. При наличие на нова задача, тя трябва да бъде зададена от оператор.



Фиг. 7 Блок-схема на алгоритъм за работа в автоматичен режим

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интерактивният режим на работа на робота позволява намесата на оператора да бъде сведена до минимум – само да зададе точно и еднозначно задачата и да следи за нейното изпълнение.

Разработеният модел на мобилен робот може да бъде използван за обучение на студентите по Робототехника при разработване на конструкции, задвижвания и системи за управление на мобилни роботи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Схеми на колесни и крачеци роботи с активни степени на свобода в тялото, Павлов, Чавдаров, Николов, Вацкичев, ПРАКТРО'2005, Варна, 2005.
- [2] Към въпроса за техническото зрение на мобилни роботи, Костадинов, Пеева, Заяков, Пенчев, ПРАКТРО'2007, Варна, 2007.
- [3] Ръководство по метрология и измервателна техника (допусково проектиране), Сотиров, Корийков, Русе, 2003.
- [4] Курсово проектиране по машинни елементи, Ненов, Техника, София, 2002.
- [5] Автоматизация и роботизация на дискретното производство, Витлиев, Русе, 1998.
- [6] CMOS интегрални схеми част 2, Димитрова, Техника, София, 1988.
- [7] MS Visual C++ 6.0, Chueck, Софтпрес, 2000.

За контакти:

Калоян Илийчев Георгиев, Специалност «Индустриално инженерство», E-mail: gigasadow@abv.bg

маг. инж. Чавдар Георгиев Костадинов РУ «Ангел Кънчев», кат. ТММРМ, тел: (082) 888 742 E-mail: chkostadinov@ru.acad.bg

Конструктивно и технологично проектиране на детайли от боеприпаси с CAD/CAM системи

Автор: Павел Ангелов

Научен ръководител: гл.ас.инж. Иво Атанасов

A Training Model of a Microprogramming Unit for Operation Control: In the last few years, the possibilities of modern CAD/CAM systems gave impetus to automated constructive and technological design. That could be noticed especially when is applied for complex constructions and details, important ware etc. The combination of software CAD and CAM packages, usage of databases and knowledge bases and other software instruments in the frame of whole CIM approach, expedites the work of constructor and technologist, prevents him from mistakes and guaranties effective and flexible design and production.

Key words: CAD/CAM Systems, SolidWorks, FeatureCAM

ВЪВЕДЕНИЕ

Възможностите на съвременните CAD/CAM системи през последните години даде мощен тласък на автоматизираното конструктивно и технологично проектиране. Това се чувства особено приложено за сложни конструктивни възли и детайли, отговорни изделия и др. Съчетанието на програмните пакети CAD и CAM, използването на бази от данни, знания и др. програмни средства в рамките на цялостен CIM (Computer Integrated Manufacturing) подход, ускорява значително работата на конструктора и технолога, предпазва го от грешки, гарантира ефективно и гъвкаво проектиране и производство.

От множеството предлагани на дистрибуторския пазар програмни продукти в доклада се акцентува на следните:

- за CAD система – SolidWorks 2007 EE, дистрибутирана от Ф "ДиТра", за цялостно създаване на 3D модели на детайли (модул Part), реализиране на сборни връзки (модул Assembly), автоматизирано създаване на работни чертежи на детайлите и сборката (модул Drawing) и използване на подсистемата за презентации eDrawing;

- за CAM система – FeatureCAM 2008, от същия дистрибутор, разглеждайки по обстойно модула TURN за стругова механична обработка с приложение на металорежещи машини с ЦПУ от вида SE063 или CT161/201 с ЦПУ ЗИТ500Т..

Детайлите и възлите, които се разглеждат в доклада са:

- тялото на детонатор за изстрел за 50 mm безоткатно оръдие SJ 500 и други осколъчно фугасни боеприпаси;

- напълно окомплектован изстрел за 30 mm оръдие система Beker, Oerlikon и различни типове боеприпаси без детонатори към тях.

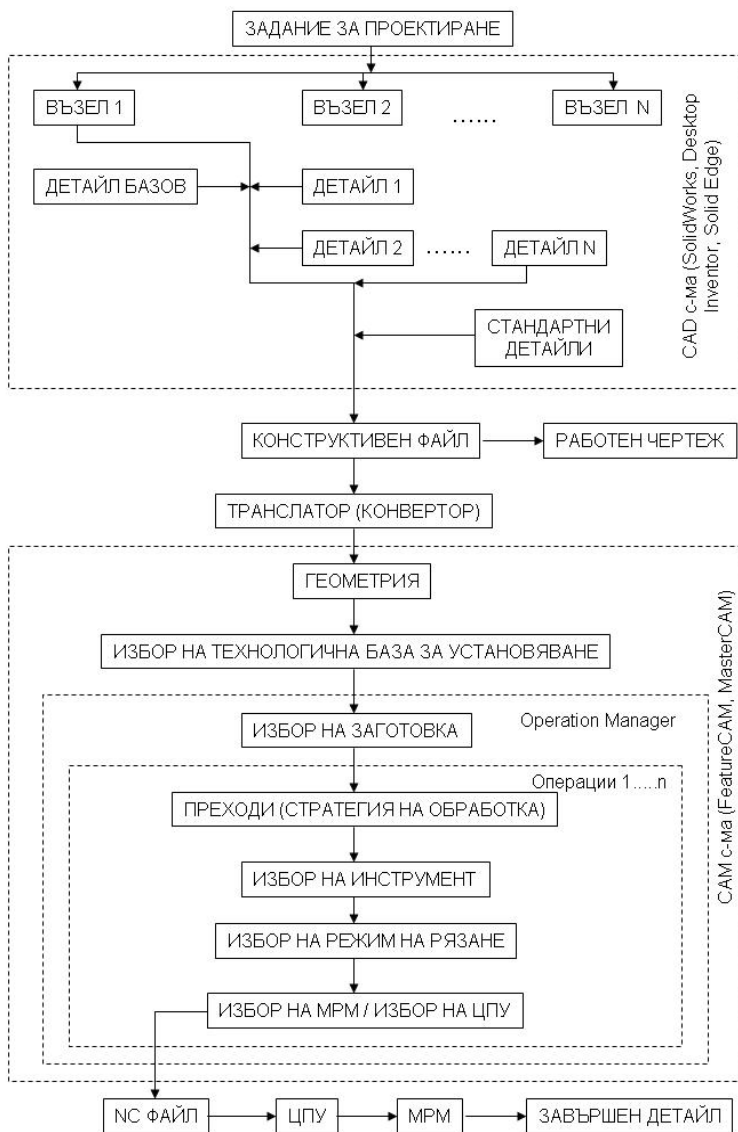
ИЗЛОЖЕНИЕ

Автоматизираното конструктивното и технологично проектиране на детайли и възли може да се илюстрира с блок-схемата, която е показана на фиг.1.

В CAD раздела е приложен подход на диференциране на заданието за проектиране, в случай сборната единица. Изходът към работен чертеж е в допълнителните възможности на пакета, както и презентационната система, която е подмодул на SolidWorks.

При несъвместимост на CAD/CAM комбинациите е възможен файлов трансфер (конвертиране) през универсален графичен файлов формат (IGES, SAT, и др.).

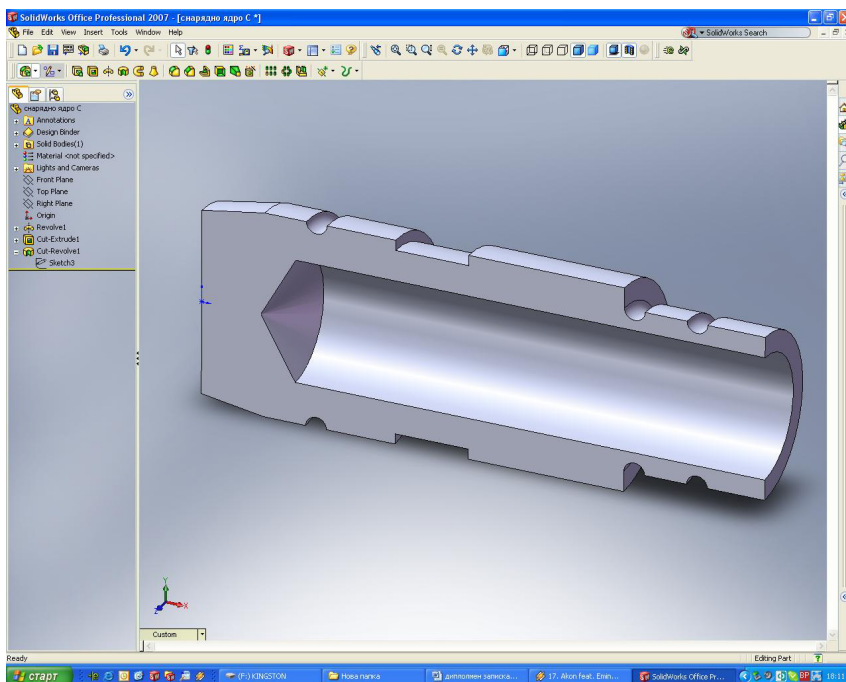
CAM раздела завършва с автоматизирано създаване на управляваща NC програма за избрана комбинация металорежеща машина – система за ЦПУ, където FeatureCAM има гъвкав подмодул за редактиране и настройка в интерактивен режим.



фиг.1. Обща блок – схема на CAD/CAM идеята

Ще се разгледат по подробно етапите на CAD/CAM идеята за детайла „снарядно ядро С”:

1. Конструирание на детайла с помощта на SolidWorks 2007 – крайният вид е показан на фиг.2.



фиг.2. Краен 3D модел на детайла, проектиран с CAD системата SolidWorks

2. Избор на заготовка - заготовката за детайла "снарядно ядро С" е стомана горещо валцована 45, чието предимството пред щампованата е по ниската и цена.

3. Избор на бази - за конструкторска база – за диаметралните размери е осевата линия на детайла, а за осевите размери е задното чело $\varnothing 27$; за черна база - външната повърхнина $\varnothing 30$ и едното чело.

4. Технологичен процес за изработване на детайла "снарядно ядро С".

Като се има предвид последователността на обработване на повърхнините, технологичният процес за обработване на детайла „снарядно ядро С“ има следното съдържание (табл.1):

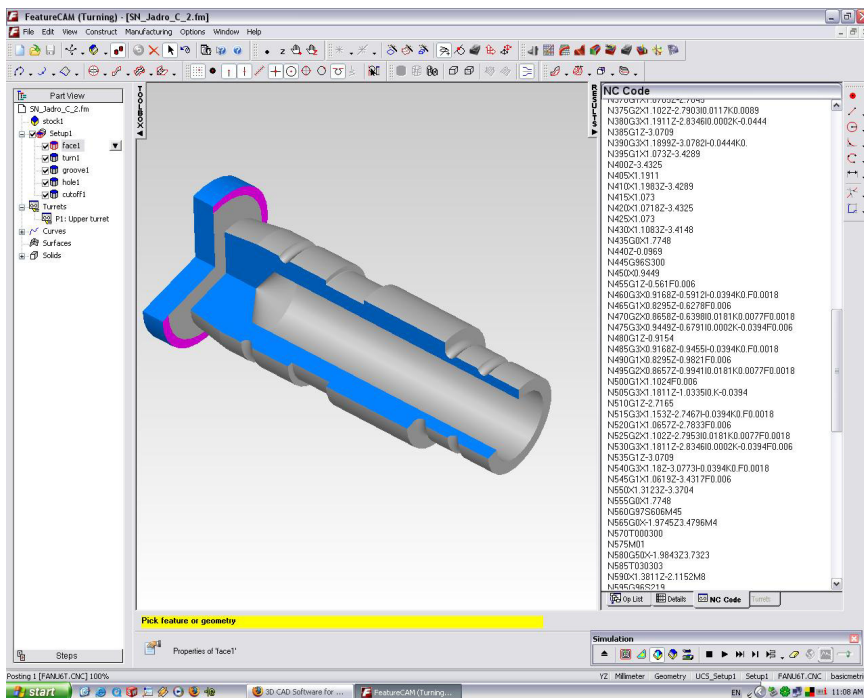
За изходна заготовка – избор - стомана горещо валцована кръгла $\varnothing 40 \pm 0.8$ mm.

Табл.1. Съдържание на автоматизирано създадената стругова операция

№	Съдържание на операцията	Машина	Приспособления и бази
1	Струговане грубо	СЕ 063	В патронник
2	Струговане грубо	СЕ 063	В патронник
3	Струговане чисто	СЕ 063	В патронник
4	Струговане чисто	СЕ 063	В патронник
5	Струговане на канал	СЕ 063	В патронник
6	Свредловане на отвор	СЕ 063	В патронник
7	Отрязване на готовия детайл	СЕ 063	В патронник

Крайният резултат, след технологичното автоматизирано проектиране с приложението на FeatureCAM и приложение на технологията за автоматизирано

разпознаване - AFR, е показан на фиг.3. Файлт с автоматизирано създадената NC програма е в текстов вид, който подлежи при нужда на редакционна обработка.



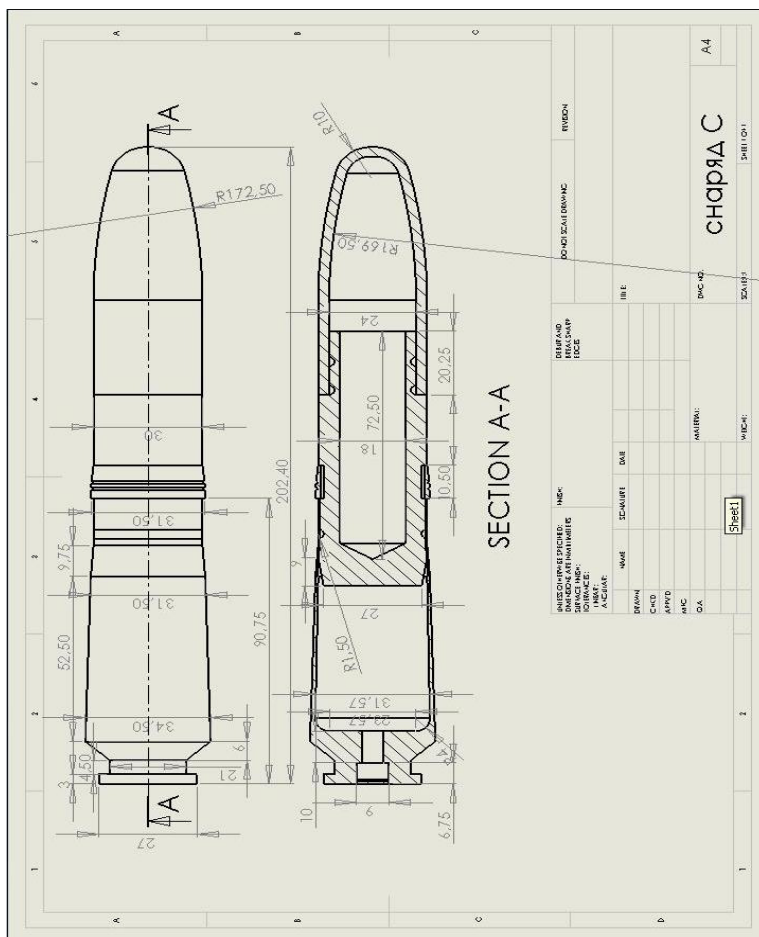
фиг.3.Резултат от технологичното проектиране с САМ пакета FeatureCAM

На фиг.4. е показан един от крайните сборни чертежи на конструирания и технологично проектиран заряд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложението на CAD/CAM подхода има следните основни предимства:

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



фиг.4. Краен работен чертеж на снаряд С

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д.Донков – CAD/CAM системи в машиностроенето, част 1 и 2, Университетско издателство “В.Априлов”, ТУ – Габрово, 1999, 2002.
- [2] Ц.Стоянов и колектив – SolidWorks – Книга за потребителя, издание на Ф”ДиТра” – CAD/CAM център на Ф”Технологика”, София, 2006.
- [3] www.ditra.bg ; www.solidworks.com ; www.featurecam.com

За контакти:

Павел Ангелов, специалност "Машиностроителна техника и технологии", МТФ, Русенски университет "Ангел Кънчев", тел. 0886 20 83 64, e-Mail: pawel_ss@abv.bg,
г.ас.инж. Иво Атанасов, катедра "ТММРМ", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082 888 469, e-mail: iatanasov@ru.acad.bg

Гравиране на текст и изображения с използването на CAD/CAM системи

Автор: Михаил Ангелов

Научен ръководител: гл.ас.инж. Иво Атанасов

***A Training Model of a Microprogramming Unit for Operation Control:** Together with obligatory modules like turning (TURN), 2.5D and 3D milling (MILL), wood processing (Router), wire cut (WIRE) in the modern CAD/CAM systems appears also new modules, like Engraving and art-jewellery (ART). They are remarkable with characteristic technological possibilities, specified as specialized strategies for mechanical processing of text and graphics on different surfaces: plane, embossed (relief) and rotary.*

Key words: CAD/CAM Systems, Engraving, MasterCAM Art

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните CAD/CAM системи наред с задължителните модули, като технологични възможности, като струговане (TURN), фрезоване 2.5 D и 3D (MILL), обработване на дърво (Router), нишкова електроерозийна обработка (WIRE), се появяват и модули като гравиране (Engraving) и изкуство - бижутерия (ART). Те се отличават с характерни технологични възможности, обособени като специализирани стратегии за механична обработка на текст и изображения върху различни видове повърхнини: равнинни, релефни и ротационни.

Такъв е примера с водещата в света по разпространение и продажби CAD/CAM система MasterCAM. В новите версии след тази с номер 8, цитираните допълнителни програмни модули заемат подобаващо място в концепцията на пакета. Подобни други системи с такива екстри са и RhinoCAD/CAM, SurfCAM, GibbsCAD/CAM и др. конкурентни и бързоразвиващи се.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Гравирането на текст и изображения предполага специализиран режещ инструмент, остро заточен и поставен на компенсационен държач.

Гравиращите инструменти са достъпни в три различни модификации:

- стандартни ротационни гравиращи инструменти – твърдо-карбидни;
- ротационни инструменти за по-меки материали (алуминий, бронз, мед) - твърдо-карбидни;
- диамантни гравиращи инструменти – обработка на стъкло и закалени повърхнини.

Тези твърдо-карбидни гравиращи инструменти са скосени от едната страна и са предвидени за работа по посока на часовниковата стрелка. Ъгъла на скосяване на режещия инструмент е 30° или 60°, в зависимост от прецизността на гравиращият ръб и обработваният материал. Предлагащите от фирмите производители режещи инструменти имат диаметри 1/8", 3/16", и 1/4", а ширината на гравиращия ръб варира от 0.005" до 0.030".

Интерактивният диалог, изграден в строга логическа последователност на модулите ART, улеснява потребителите. Предлагат се възможности за редакция - итерационен подход, докато не се получат желаните резултати. Подробното представяне (Preview) в графичен вид позволява да се види детайла в режим симулация в реални условия или само с хода на режещия инструмент спрямо заготовката. Екранните команди на модула, които се активизират от потребителя, са изградени с подхода падащо меню. Технологичните възможности на модула MasterCAM Art, който се предлага в два варианта – олекотена версия Art LT и пълна версия ART се отличават със следните по-важни характеристики (табл.1).

Табл.1. Сравнителни възможности

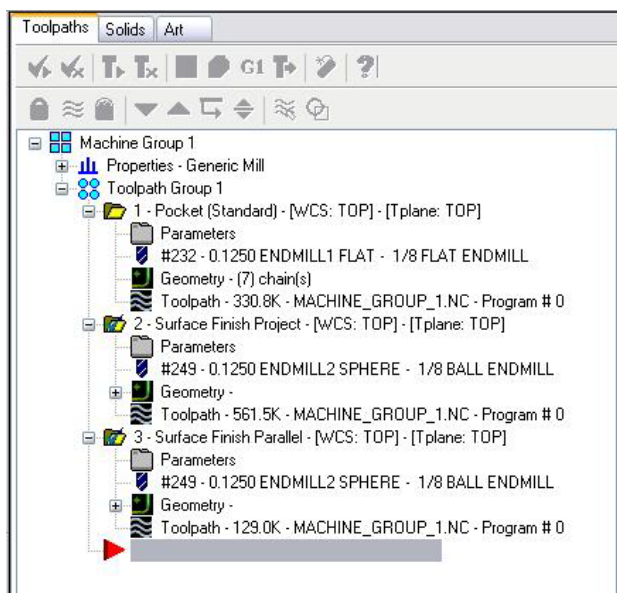
MasterCAM X2	Art LT	Art
CAD Инструменти		
Бърз 3D дизайн без да се изискват познания за повърхнини и обеми	x	x
Оформете вашия модел на око с точни размери	x	x
Предайте обем на 2D очертания в 3D форми	x	x
Добавяне, изваждане и смесване на 3D форми с едно щракване	x	x
Конвертиране на 2D проекти в машинна геометрия	x	x
Създаване на 3D релефи от сканирани снимки	x	x
Art Manager – редактирайте вашия проект стъпка по стъпка	x	x
Проектирайте с различна резолюция за да ускорите моделирането	x	x
Запазете своите любими техники за обработка	x	x
"Pearling" за повтаряно употреба на форма с контрол на размера	x	x
Бърз дизайн на специфични дейности (тъкане и др.)	x	x
CAM Инструменти		
Ексклузивни бързи инструменти, специално създадени за Art		x
14 изпробвани в практиката, достъпни само в Art груби и финни стратегии за обработка		x
Програмирайте при резолюция подходяща за вашия проект		x
Запазете своите любими стратегии за машинна обработка		x
Мениджър на инструментите – редактирайте вашите стратегии за машинна обработка		x
Гледайте на екрана обработката на детайла преди да се изпрати към машината (симулация в фотореалистичен вид)		x
Прехвърляйте Art модели към Mill или Router за стандартна машинна обработка на повърхнините	x	x

Помощ и Съдействие		
Контекстуално свързана помощ	x	x
Пълно ръководство на PDF с уроци стъпка по стъпка	x	x
Видео материали за основните процеси при поискване	x	x

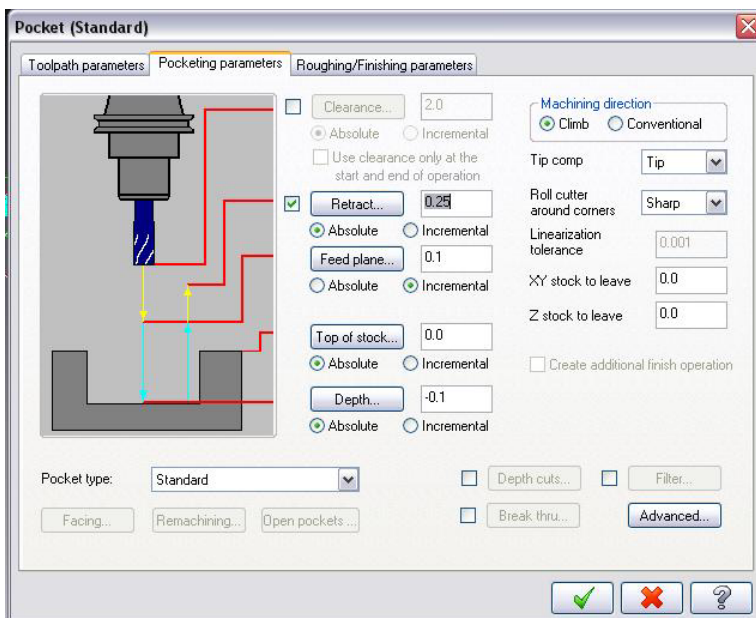
Ще разгледаме пример с гравирание на текст върху ротационна повърхнина.

Последователността е следната:

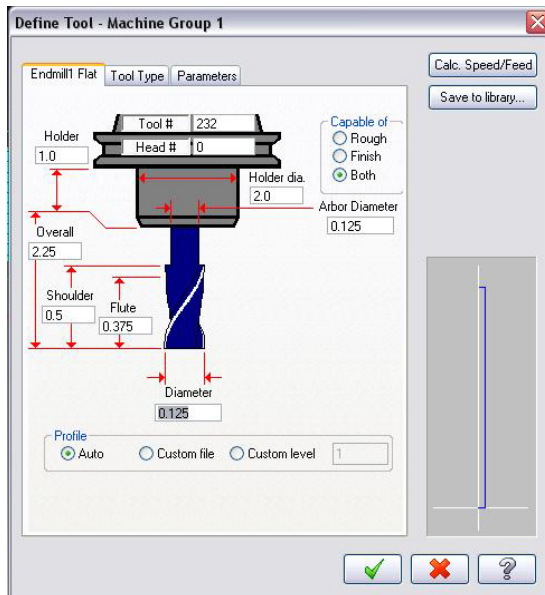
- с CAD средствата на системата се дефинира тримерно тяло, в случая паралелепипед;
- дефинира се дъговидна повърхнина, вътрешно допирателна до горната повърхнина на модела;
- дефинира се площадка в горната равнина на паралелепипеда, в която се вписва желания текст, като има възможност за избор на шрифт, големина, наклон и др. показатели;
- в три стъпки се формира съдържанието на Operating Manager, показан на фиг.1, като всяка стъпка има своите данни за: параметрите на механичната обработка – стратегия и данни за позиционирането (фиг.2); характеристиките на режещия инструмент (фиг.3) и избраните контури като елементна база (Chain Manager);



фиг.1. Operating Manager с формирани технологични преходи

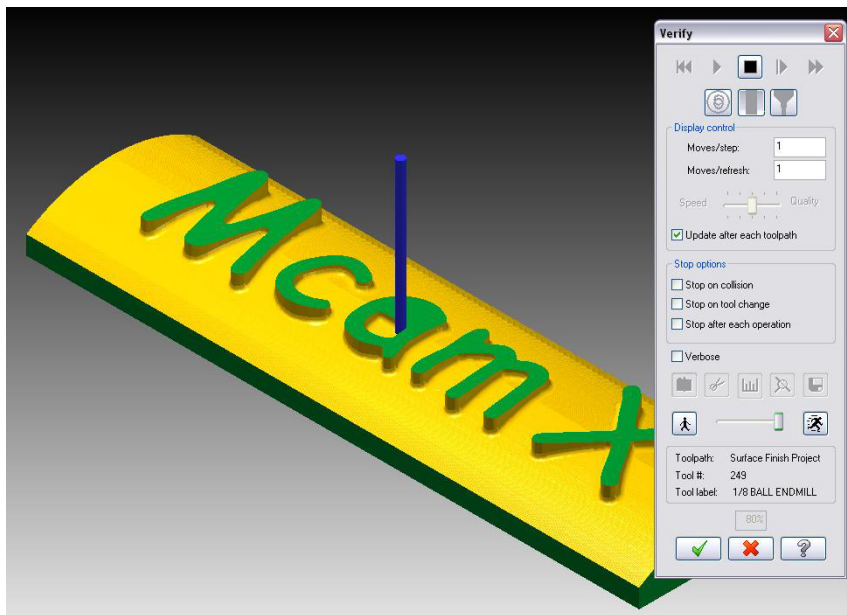


фиг.2. Обработваща стратегия и данни за позиционирането



фиг.3. Параметри на режещия инструмент

Като краен контрол пакета позволява изборна симулация във видео режим с изобразяване на траектория на инструмента или във фотореалистичен вид. (фиг.4). Крайният продукт е управляваща NC програма за специализирана машина с ЦПУ, тествана и с възможност за настройка на постпроцесорния интерфейс.



фиг.4. Фотореалистична симулация

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогични са действията и при гравирание на изображения и комбинациите с приложение на текст (изпъкнал или вдълбан в обработваната повърхност).

Показаният пример е бегла илюстрация на богатите възможности на продукта MasterCAM ART и Engraving, които се използват в производствените процеси и най-вече за обучение в почти всички известни ВУЗ в света.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Донков – CAD/CAM системи в машиностроенето, Автоматизация на технологичното проектиране, част 1 и 2, Унив. изд-во “В.Априлов”, ТУ – Габрово, 1999, 2002
- [2] www.mastercamart.com
- [3] www.mastercam.ru ; www.cadcamcae.lv
- [4] www.2linc.com

За контакти:

Михаил Ангелов, специалност “Машиностроителна техника и технологии”, МТФ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. 0883 39 81 47, е-Mail: xeforce3@abv.bg
гл.ас.инж. Иво Атанасов, катедра “ТММРМ”, МТФ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 469, е-mail: iatanasov@ru.acad.bg

Проектиране на гърбици за заточна машина с помощта на AUTOCAD

автор: Веселин Георгиев

научен ръководител: доц. д-р Георги Ненов

Проектиране на гърбици за заточна машина с помощта на AUTOCAD. В публикацията се разглеждат възможностите, които дава комбинирането на графичната среда AUTOCAD с AutoLISP при проектиране на сложни профили, получени като геометрично място на точки. Чрез съответен модул, написан също на AutoLISP, полученият профил се транслира автоматично в NC програма. Подходът е приложим за различни построения, включващи голям брой последователни положения на различни геометрични елементи.

Key words: Computer Systems and Technologies, Model, CAD/CAM, AutoLISP.

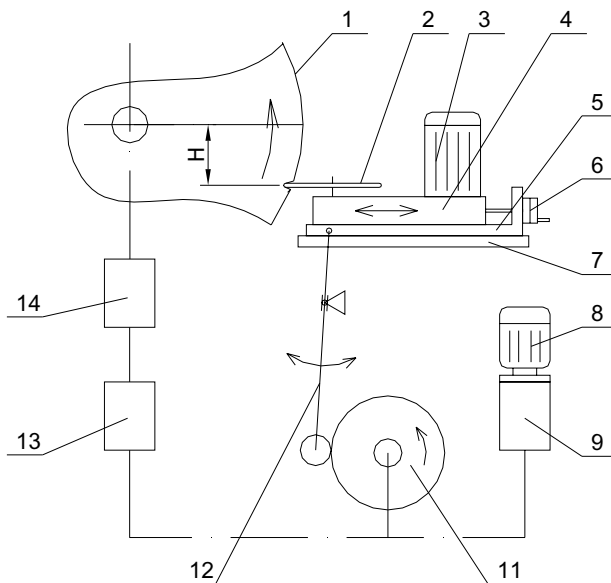
ВЪВЕДЕНИЕ

При конструиране на гърбици, шаблони, режещи инструменти и др. често се налагат изчисления свързани със сложни зависимости. Вместо уравнения понякога се оказва по-удобно използването на геометрични построения. Когато търсеният профил е обвиваща крива или геометрично място на точки тези построения трябва да се извършват многократно. В такива случаи е удобно комбинирането на графична среда с програмен език.

1. Постановка на задачата

Заточната машина МЗ 720 служи за заточване на циркулярни дискове с диаметри до 720 mm. При необходимост на нея може да се формират и зъби на нов циркуляр от подходяща дискова заготовка.

Обработването става по метода на обхождането, като формообразуването е



Фиг. 1. Кинематична схема на заточна машина

резултат от равномерното въртене на циркулярния диск и синхронизирано с него възвратно-постъпателно движение на абразивния диск.

На фиг. 1 е показана част от кинематичната схема на машината, която дава представа как се получава обхождащото движение. Обработването се извършва от абразивен диск 2, който се привежда в движение от двигателя 3 посредством ремъчна предавка. Тези елементи са обединени в шлифовъчен супорт 4, който е монтиран върху шейната 5. Тя извършва възвратно-постъпателни движения под въздействието на дисковата гърбица 11 и кобилицата 12. Гърбицата се върти от подавателен двигател 8 през редуктор 9.

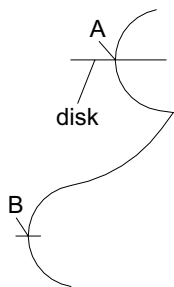
Синхронизираното въртене на циркулярния диск 1 се получава от лирата 13, задвижвана от същия вал, който върти и гърбицата 11. Предавателното отношение на лирата трябва да съответства на броя на зъбите на циркуляра, тъй като един зъб се обработва за един оборот на гърбицата. Диференциалният механизъм 14 дава възможност за ъглово отместване на циркулярния диск, като с това се дава възможност да се синхронизира ъгловото положение на гърбицата със съответната точка от обработвания профил. Положението на супорта 4 спрямо шейната 5 може да се регулира чрез винта 6, като по този начин се компенсира износването на диска 2 и да се обработват циркуляри с различни диаметри.

За да могат да се обработват профили както с отрицателен, така и с положителен преден ъгъл равнината на абразивния диск е отместена на разстояние H от оста на циркуляра.

2. Подготовка на изходните данни

Подготовката на изходните данни се състои в преобразуването на цифровите данни от заданието в полилиния, съответстваща на профила на зъб от циркуляра. Това става по следния начин:

1. начертава се окръжност с център O , O и радиус R_c ;
2. от т. с координати R_c , O (върхът на зъба) се начертава профила на зъба в съответствие със зададените геометрични параметри;
3. с командата *Arrey* се начертavat Z зъба, равномерно разпределени по периферията на диска;
4. с помощта на дъги от окръжност се съединяват два съседни профила, така че да се получат две междузъбия около първоначално начертания зъб;
5. изтриват се всички начертани до тук обекти, с изключение на профила на зъба и двете дъги, свързващи го със съседните профили, които за удобство при по-нататъшната работа се обединяват в полилиния;



Фиг. 2. Профил на зъб

7. прекарва се линия $disk$ на разстояние H , съответстваща на симетралата на абразивния диск;

8. прекарва се помощна окръжност с център O , O и допираща се до свързващите дъги;

9. ползвайки помощната окръжност, полилинията се завъртва около т. O , O докато най-ниската част от свързващата дъга застане върху правата $disk$.

С описаните действия се създава полилиния, наричана по нататък *profil*, показана на фиг. 2. Тя съответствува на зададения профил, разположен в позицията, в която става обработването. Частта, която се обработва за едно завъртане на гърбицата е между точките A и B . За удобство при по-нататъшна работа *profil* се съхранява във файл само за четене.

3. Проектиране на профила на гърбицата с ACAD

Отваряме файла с профила. С командата *offset* се създава еквидистанта *profile* към *profil* на разстояние *Rdisk*. Прекарва се помощна отсечка *disk*, съответстваща на равнината – симетрала на абразивния диск. На тази равнина лежи центърът на закръгление на диска – *Cdisk* с радиус *Rdisk*. Пресечната точка на *disk* с *profile* – *Ti* дава положението на центъра на *Cdisk* при обработване на съответната точка от *profil*. *Ti* се определя чрез командата *trim*, отрязваща лявата част на отсечката *disk*. За получаване на следващата точка от профила е необходимо *disk* да се изтрие и начертае отново, а *profile* да се завърти с *rotate* около центъра на циркуляра (т. 0, 0) на ъгъл *B*.

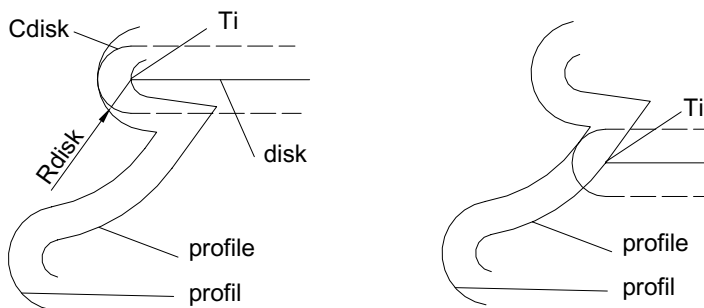
$$B = \frac{360}{Z * N},$$

където *Z* е броят на зъбите на циркуляра;

N – броят на точките, на които се дели профилът на един зъб.

N фактически отговаря и на броя на точките по които се проектира гърбицата, като при завъртането на циркуляра на ъгъл *B* гърбицата се завъртва на ъгъл *Bgrb*.

$$Bgrb = \frac{360}{N}.$$



Фиг. 3. Схема на обхождане на профила

На фиг. 3 са показани две положения на абразивния диск при обхождане на профила на зъба. Координатите *Xi* на точките *Ti* се използват за изчисляване на полярните координати на точките от гърбицата:

$$Agrbi = Bgrb * I,$$

$$Rgrbi = Rgrb0 + (Xi - X1),$$

където *Agrbi* е ъгълът на който е разположена точката с номер *I*;

Rgrbi – съответният радиус;

Rgrb0 – начален радиус на гърбицата;

X1, *Xi* – координати *X* на точките *T1* . . . *Ti*.

В програмите за машини с ЦПУ обикновено се използват декартови координати:

$$Xgrbi = Rgrbi * \cos(Agrbi),$$

$$Ygrbi = Rgrbi * \sin(Agrbi).$$

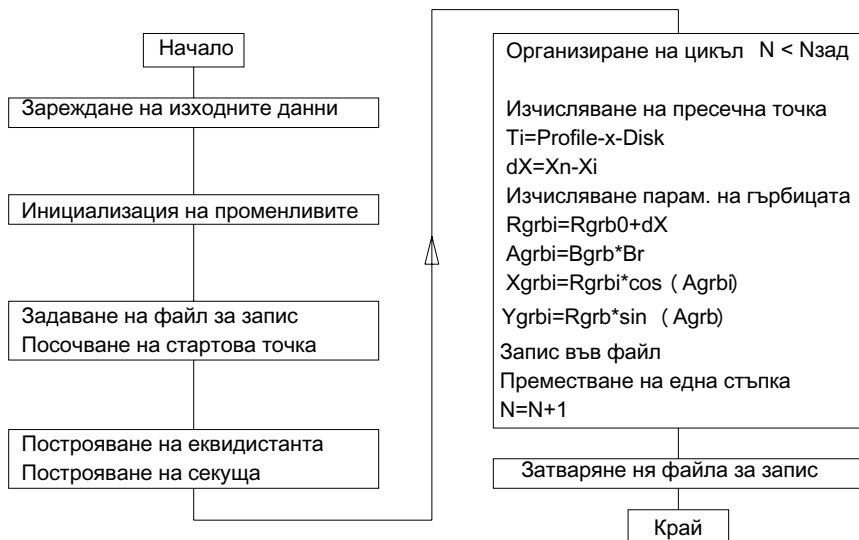
Разгледания метод за изчисляване на точки от гърбица чрез ACAD облекчава изчисленията, но въпреки това обемът на работа остава голям, като се има предвид, че броя на точките за получаване на качествен профил надхвърля 100 и за всяка точка трябва да се повторят описаните по-горе действия.

4. Проектиране с помощта на AUTOLISP

AUTOLISP е език за програмиране, вложен в ACAD, даващ възможност за текстово описание на всички действия, заложи в ACAD, като наред с това могат да се извършват широк кръг изчисления, организиране на цикли и т.н.

Основното предимство в случая е възможността да се организира изчислително-графичен цикъл като Agrbi, Rgrbi, Xgrbi и Ygrbi се пресмятат автоматично и записват в съответен текстов файл.

На фиг. 4 е показана блоковата схема на програмата NCGRB, която е



Фиг. 4. Блок схема на изчислителна програма за AutoLISP

предназначена за пресмятане на дискова гърбица по описаната схема. Основните моменти в нея са:

Зареждане на изходните данни. За удобство и документиране изходните данни се зареждат в самостоятелен текстов файл. В случая това са радиус на закръгление на абразивния диск, брой на изчислителните точки, брой на зъбите, радиус на циркуляра. Този файл се извиква от програмата.

Инициализация на променливите. Задават се изходни стойности на използваните локални променливи.

Задаване на файл за запис. Резултатите от изчисленията могат да се запишат в два вида файлове. Разширение „all“ е за запис на всички данни от изчисленията. Това са Agrbi, Rgrbi, Xgrbi и Ygrbi. Този тип файл служи за проверка на изчисленията. При генериране на такъв файл точките се дават една по една и се онагледяват последователните позиции на обработване. Разширението „nc“ се използва за генериране на NC - управляваща програма. Желаният тип се избира след запитване от програмата към потребителя. След отваряне на файла за запис, ако той е NC в него се записват данни за оформяне на уводната част на програмата.

Посочване на стартова точка. С помощта на мишката се посочва точката от профил (т.А, фиг.2), от която започват изчисленията.

Построяване на екуидистанта и секуща. След тези автоматични геометрични построения се стига до вида на фиг.3.

Организиране на изчислителен цикъл. Изчислителният цикъл обхваща извличане на координатите на пресечната точка T_i , изчисляване на нейното преместване по ос X за една стъпка - dX , $Agrbi$, $Rgrbi$, $Xgrbi$ и $Ygrbi$. Изчислените стойности се записват във файл от избрания тип. След това се изтриват на помощните елементи, извършва се ротация на една стъпка на $profil$ и $profile$, след което помощните елементи се изчертават отново с което чертежът се подготвя за следващия изчислителен цикъл. Цикълът се повтаря N пъти, след което се преминава към следващата стъпка.

Затваряне на файла за запис. Ако файлът е NC преди това се записва команда за край на програмата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Програмата NCGRB е разработена във връзка със заявка от фирма. След тестването ѝ, с нейна помощ са изработени комплект гърбици за обработване на различни профили на режещите зъби. Измерванията на зъбите показват съответствие между заявления и получен профили.

Комбинирането на ACAD и AUTOLISP прави възможно решаването на широк кръг от задачи свързани с построяване на геометрично място на точки, например построяване на обвиващи криви, пресмятане на сложни профили и т.н. освен това могат да се онагледят премествания на различни кинематични елементи, лостови механизми и други във вид на движещи се кинематични модели.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Джордж Омура, AutoCAD 2000, Алекс Софт, 1999г.

[2] Сечи Т., Компютърно моделиране с AutoLISP, РУ"А Кънчев" 1997.

За контакти:

Доц.д-р Георги Ненов, Катедра ТММРМ, Русенски университет "Ангел Кънчев",
Тел.: 082 888 679, E-mail: gnenov@ru.acad.bg.

Инструмент за довършващо обработване на лагерни втулки чрез повърхностно пластично деформиране

автор: Александра Алюшева
научен ръководител: доц. д-р Васил Костадинов

Резюме: Обработването чрез повърхностно пластично деформиране (ППД) посредством инструменти с осово подаване на отвори с прекъснат и незатворен контур (канали, прозорци и др.) е неприложимо поради получаването на краищен ефект (увеличаване диаметъра при челата на отвора). В тези случаи се използват инструменти за ППД с радиално подаване. Независимо от предимствата им, в някои случаи на обработване на гореизложените повърхнини, приложението им е затруднено. В тези случаи се прилагат инструменти за ППД с радиално подаване.

Ключови думи: Повърхностно пластично деформиране; краищен ефект; инструмент за ППД с радиално подаване

ВЪВЕДЕНИЕ

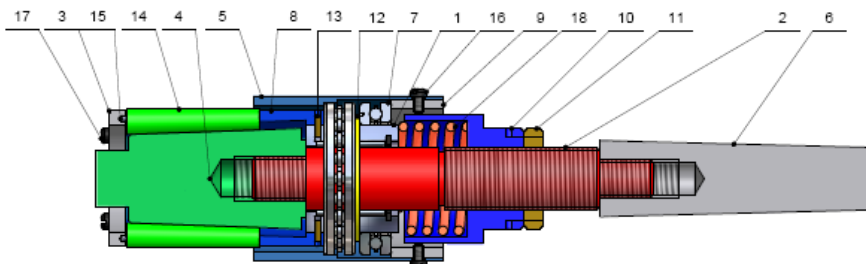
Инструментите за повърхностно пластично деформиране (ППД) се използват за обработване на различни повърхнини (цилиндрични, конусни, равнинни, профилни), но най-широко приложение са получили тези за обработване на дълги гладки отвори. Те се характеризират с осово подаване на деформиращите елементи спрямо обработваната повърхнина.

Обработването чрез ППД на къси точни отвори ($L/D < 5$) с този вид инструмент е затруднено. Една от причините е получаването на краищен ефект (увеличаване диаметъра на отвора при челата на детайла). В резултат на това, намалява полезната работна площ от повърхнината на отвора.

В този случай възниква необходимостта от използването на инструмент с радиално подаване на деформиращите елементи, който обработва повърхнината по цялата дължина.

Цел на настоящата работа е да се конструира инструмент за ППД, работещ с радиално подаване на деформиращите елементи той ще се използва при довършващо обработване на лагерните втулки.

ИЗЛОЖЕНИЕ



Фиг.1 Инструмент за ППД с радиално подаване

На фиг.1 е показан инструмент за ППД, работещ с радиално подаване. Той се състои от вал 2 с опорен конус 4 и конусна опашка 6, сепаратор 8, носещ конусни деформиращи ролки 14 (с дължина по-голяма от тази на обработвания отвор), установен чрез иглен лагер 1 върху вал 2, сачми 15, капачка 3, аксиални лагери 7,

ограничителна втулка 5, пружина 18, гайки 10 и 11. Инструментът се установява към вретеното на машината посредством конусна опашка 6 и се настройва на размер чрез гайките 10 и 11.

Пружината 18 осигурява разположението на ролките върху предната част на опорният конус и по този начин се образува по-малък диаметър от този на обработвания отвор. Инструментът се въвежда свободно в отвора докато ограничителната втулка 5 опре в челото на заготовката. След прилагане на въртящ момент и осова сила, опорният конус се премества осово и предизвиква търкаляне с радиално подаване на ролките. Това подаване се прекратява, когато гайката 10 опре в гривната на аксиалният лагер 7, с което се изчерпва и прибавката за деформиране. При извеждане на инструмента от отвора, пружината 18 отново привежда сепаратора 8 в предно крайно положение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С така описаният инструмент предстои да се проведат експерименти, като обект на изследването ще бъде грапавостта на вътрешни цилиндрични повърхнини.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Костадинов В.С. Относно краищния ефект при инструменти за ППД с радиално подаване. Научни трудове на ВТУ "А.Кънчев", Русе , т. XXVI, 1986.
- [2] Кършаков М.К, Довършващо обработване на вътрешни цилиндрични повърхнини чрез инструменти за ППД, работещи с периодично радиално подаване, Автореферат, София, 1988.

За контакти:

Александра Алюшева, Русенски университет "Ангел Кънчев", Специалност "Индустриално инженерство"

доц. дтн Васил Костадинов, Русенски университет "Ангел Кънчев", Катедра „Технология на машиностроенето и металоорежещи машини“, тел.: 082-888 781, e-mail: vkostadinov@ru.acad.bg.

Якостен анализ на метална рамка от козирка

автор: Александър Пачев
научен ръководител: ас. инж. Иво Драганов

Резюме: Извършена е якостна проверка на металната рамка на козирка, чрез използване на два метода за решаване на статично неопределими системи – силов метод и метод на крайните елементи (МКЕ). Направен е анализ на получените резултати.

Ключови думи: Силов метод, метод на крайните елементи (МКЕ), метални конструкции.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последната година се наблюдава увеличаване случаите на саморазрушаване на временни конструкции и допълнителни конструктивни елементи по сгради (навеси, козирки, парапети, рекламни пана, табели и т.н.), някои от които завършиха с човешки жертви. Предотвратяването на такива инциденти би могло да се избегне, чрез забрана на изграждането на подобни съоръжения. Не рядко ставаме свидетели на такива силови решения, но те подкопават авторитета на институциите, които ги вземат и са израз на безсилието им. Анализът показва, че една от предпоставките за подобни случаи е липсата на якостни изчисления, поради на пръв поглед маловажността на конструкцията.

В настоящата публикация са представени резултатите от якостния анализ на металната рамка на козирка (фиг. 1), натоварена от въздействието на атмосферни условия, собственото тегло, експлоатационни и случайни натоварвания. Използвани са два метода за решаване на статично неопределима система – силов метод и метод на крайните елементи (МКЕ). Получените резултати са анализирани.

ИЗЛОЖЕНИЕ

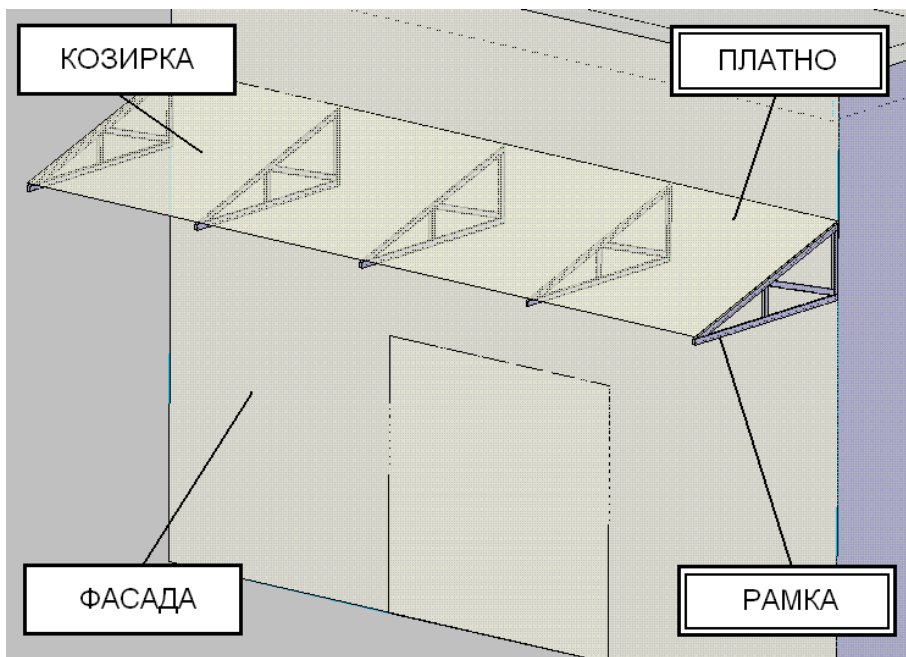
1. Реална конструкция

Конструкцията на изчисляваната козирка е дадена на фигура 1. Тя се състои от еднотипни рамки изработени от стандартен метален профил, чиито характеристики са дадени в таблица 1 съобразно с [3] и платна. Последните могат да бъдат изработени от различни материали – ламарина, стъкло, текстил, полимери и др. Козирката е закрепена към фасадата на сградата посредством анкерни болтове.

Таблица 1. Характеристики на използвания профил

Характеристика	Стойност
Размери на напречното сечение – $a \times b \times \delta$	40 x 20 x 3
Съпротивителен момент - W_y	$2.6360 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
Инерционен момент - I_y	$6.0812 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$
Маса за един метър дължина – m_1	2,361 kg
Допустимо напрежение - $[\sigma]$	160 MPa
Модул на еластичността - E	$2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
Плътност - ρ	7850 kg/m ³

За гарантиране надеждността на конструкцията е необходимо всички нейни елементи да бъдат якостно изчислени. Критичен по отношение на издръжливостта е разчета на металните рамки, тъй като те поемат цялата тежест възникваща в резултат на силовите въздействия.



Фиг. 1. Козирка

2. Натоварване

Въздействията върху конструкцията са отчетени съгласно [2] и предизвикват следните натоварвания:

- Собствено тегло на конструкцията – $G = 427 \text{ N}$, което ще бъде зададено като равномерно разпределен товар с интензитет 270 N/m .

Коефициент на натоварване от собственото тегло - $\gamma_f^T = 1,1$.

- Вертикално експлоатационно натоварване (кратковременно), категория Н - разпределен товар - $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ и съсредоточена сила - $Q_k = 1 \text{ kN}$ (действаща в най-неблагоприятната зона).

Коефициент на експлоатационно натоварване $\gamma_f^E = 1,1$.

- Натоварване от сняг - S_n

$$S_n = S_k \mu = 1,8 \cdot 1 = 1,8 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

Коефициент на натоварване от сняг - $\gamma_f^C = 1,4$.

- Натоварване от вятър – w_w

$$w_n = w_{m,k_2,c} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,8 = 0,45 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

$$w_{p,n} = w_n \zeta_v = 0,45 \cdot 1,22 \cdot 0,92 = 0,50508 \text{ kN/m}^2 \quad (3)$$

$$w_w = w_n + w_{p,n} = 0,45 + 0,50508 = 0,95508 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

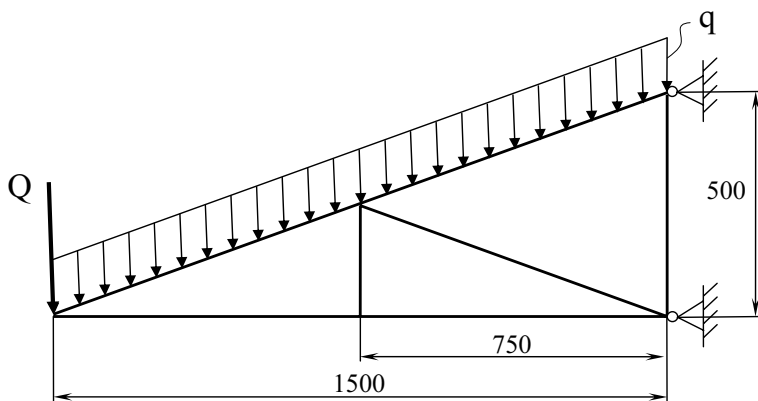
Коефициент на натоварване от вятър - $\gamma_f^B = 1,4$.

- Допълнително натоварване – в резултат на увисване на човек в края на козирката – $Q_n = 1,2 \text{ kN}$.

3. Изчислителна схема

Схематизирането на металната рамка на козирката, закрепването и натоварването са дадени на фигура 2. Рамката е моделирана като гредова, статично

неопределима система, натоварена с равномерно разпределен вертикален товар и съсредоточена вертикална сила в левия край.



Фиг. 2. Изчислителна схема на рамката

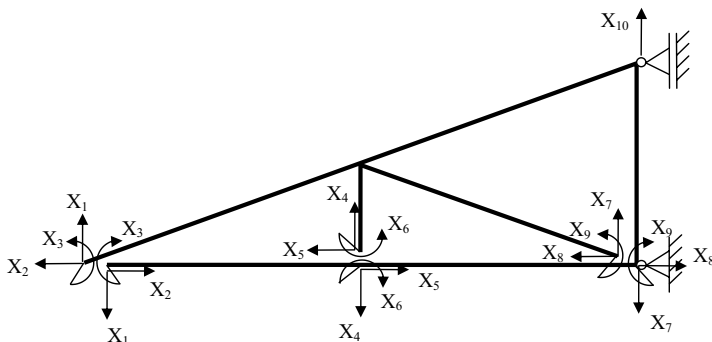
При разстояние между рамките един метър, съсредоточената сила и разпределения товар имат следните стойности:

$$Q = Q_k \cdot \gamma_f^E + Q_h = 1.1, 1 + 1, 2 = 2, 3 \text{ kN} \quad (5)$$

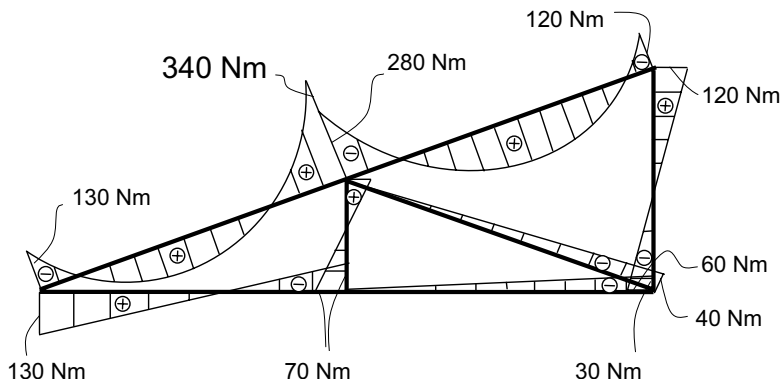
$$q = G \cdot \gamma_f^T + q_k \cdot \gamma_f^E + S_n \cdot \gamma_f^C + w_w \cdot \gamma_f^B = 0, 27 \cdot 1, 1 + 0, 5 \cdot 1, 1 + 1, 8 \cdot 1, 4 + 0, 95508 \cdot 1, 4 = 4, 7 \text{ kN/m} \quad (6)$$

4. Решаване чрез силовия метод

Изчисляваната рамка е десет пъти статично неопределима. За решаване на задачата е избрана основна система показана на фигура 3. На фигура 4 е показана диаграмата на огъващия момент, получена след разкриването на статичната неопределимост, чрез решаване на каноничните уравнения на силовия метод съобразно [1] и [5]. Останалите разрезни усилия са пренебрегнати.



Фиг. 3. Основна система



Фиг. 4. Диаграма на огъващия момент

Максималните напрежения които се получават са:

$$\max \sigma_{\alpha} = \frac{|M_y|}{W_y} = \frac{340}{2,636 \cdot 10^{-6}} = 129 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 129 \text{ MPa} \quad (7)$$

5. Решаване чрез МКЕ

В настоящия момент, в залите на РУ „Ангел Кънчев“ са на разположение две програми даващи възможност да се решават задачи, чрез използване на метода на крайните елементи. Едната е програмна система ВИМКЕ, разработена от катедра „Техническа механика“, а втората е COSMOSWorks, модул на SolidWorks 2007. Втората е с големи възможности по отношение на моделирането на обекти и ефектното онагледяване на получените резултати. Решаването на задачата по МКЕ е извършено чрез програмна система ВИМКЕ. Тя позволява задаването на равномерно разпределен товар по дължината на гредовите крайни елементи, което не е предвидено в COSMOSWorks [6].

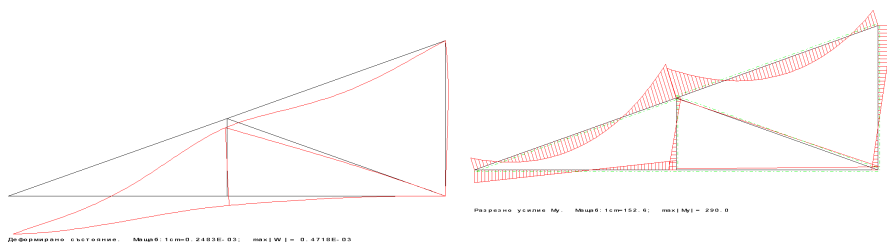
Рамката е моделирана чрез 7 гредови крайни елемента и 5 възела. Входните данни са въведени съгласно изискванията на [4].

Резултатите получени при решаване на задачата са дадени в таблица 2.

Параметър	Стойност
Максимална стойност на нормалното разрезно усилие - N_x	19,1 kN
Максимална стойност на тангенциалното разрезно усилие - Q_z	1,93 kN
Максимална стойност на огъващия момент - M_y	328 Nm
Еквивалентно напрежение - $\sigma_{\text{ЕКВ}}$	160 MPa
Коефициент на сигурност (прямо допустимото напрежение) - ks	1
Максимално преместване - δ	1,7 mm

Табл. 2. Резултати при решаване чрез МКЕ

На фигура 5 е дадено деформираното състояние на рамката и диаграмата на огъващият момент възникващ в нея.



Фиг. 5. Деформирано състояние и диаграма на огъващия момент

6. Анализ на получените резултати

Характера на диаграмите на огъващия момент, получени по силовия метод и по МКЕ е един и същ. Съществуват разлики в числените стойности (за максималната стойност на огъващия момент тя е 3,7%) но получените резултати и по двата метода показват, че конструкцията ще издържи предвиденото натоварване. При решаване на задачата по силовия метод за максималните напрежения е получена стойност 129 МПа, а при МКЕ за еквивалентните напрежения е получена стойност 160 МПа. Причина за това е, че при силовия метод са пренебрегнати нормалните и тангенциалните разрезни усилия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всяка конструкция е подложена на външни въздействия. Задача на проектантите и конструкторите е да извършват якостни разчети на своите разработки. Подценяването на този важен етап от създаването на съоръженията води до инциденти завършващи не рядко с фатален край. Това с особена сила важи за временните конструкции, каквато е анализираната козирка. Чрез настоящата публикация е направен опит да се демонстрират два метода за якостна проверка на статично неопределими рамки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куюмджиев Хр., Й. Николов и др. Съпротивление на материалните ръководство за самостоятелна подготовка, Русе – 2004
- [2] Министерство на регионалното развитие и благоустройството, Наредба №3 от 21 юли 2004 г. за основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и въздействията върху тях, Държавен вестник, брой 92
- [3] Прециз Интер Хорлдинг АД, Продуктов каталог на фирмата, www.precis-inter.com
- [4] Русенски университет „Ангел Кънчев“, Ръководство за работа със система ВММКЕ, <http://local.ru.acad.bg/ur/disciplini/idm/vimke.php>
- [5] Стойчев, Ю., Хр. Куюмджиев и др. Съпротивление на материалите, Русе - 1986
- [6] SolidWorks Corporation, COSMOSWorks Help Topics

За контакти:

Александър Пачев, Русенски университет „Ангел Кънчев“, специалност МТТ, студент II курс.

Ас. инж. Иво Драганов, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Катедра „Техническа механика“, тел.: 082-888 224, e-mail: ivanov@ru.acad.bg.

Динамика на подвижен двуножов блок при разстъргване на отвори

автор: Адриан Петров

научен ръководител: ас. инж. Павел Петров

***Dynamics of the mobile two skiving block in the hole's cutting:** Because of the mistakes in the technological system, in the hole cutting by the mobile two-skiving block is given a fluctuation in the depth of cutting, respectively in the action forces. In the present work are established the dependence between force, operating over the mobile block through cutting and mutually disposition of the block and cutting hole in the plane of the measure's formation YOZ.*

Key words: Mobile skiving block; cutting forces; processing precision.

ВЪВЕДЕНИЕ

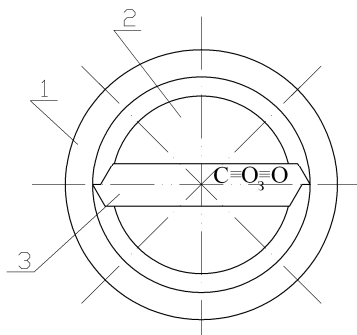
Обработването на отвори с високи изисквания за точност на размерите и формата е един от постоянно актуалните проблеми на съвременното машиностроене. При дълбоки отвори практическо приложение намират разстъргващи инструменти с две режещи части, срещуположно разположени в общ блок и с възможност за преместване свободно в равнина, перпендикулярна на оста на въртене на машината. При пренебрегване силите на триене в направляващите, двуножовият плаващ блок ще бъде в непрекъснато динамично равновесие в радиално направление, изразено чрез равенство на двете срещуположно действащи радиални сили на рязане. В реални условия идеално равновесно състояние е непостижимо поради съпротивлението на силите на триене срещу радиалното преместване на подвижния блок и отклоненията на оста на симетрия на обработвания отвор спрямо оста на въртене на машината, както и на разположението на блока спрямо двете оси, в резултат от грешки в установяването на заготовката и инструмента и от изработването на последния. Очаквана последица от тези отклонения е колебание на големината, направлението и съотношението на активните (силите на рязане) и реактивните (силите на триене) сили, причиняващи премествания на блока в радиално и в тангенциално направление, които се отразяват върху формата на получавания отвор.

Целта на настоящата работа е да се установи силовото натоварване на подвижния двуножов блок при разстъргване в зависимост от взаимното разположение на блока и обработвания отвор в равнината на размерообразуването YOZ.

ИЗЛОЖЕНИЕ

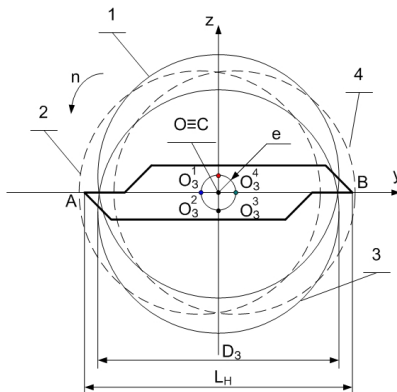
При разстъргване на дълбоки отвори с помощта на борщанга и подвижен двуножов блок идеален е варианта, при който осите на симетрия на блока (С) и отвора на заготовката (Оз) съвпадат с оста на въртене на машината (О) (фиг.1). В този случай отсъстват или са пренебрежими сили, огъващи борщангата.

По причини, посочени в увода, оста на симетрия на напречното сечение на отвора във всеки момент от осовото подавателно движение на инструмента, не съвпада с оста на въртене на машината. Ако се приеме, че отклоненията на формата на отвора в такова сечение са пренебрежими и честотата на въртене на заготовката е малка може да се види, че при едно пълно завъртане на заготовката около оста О на машината оста на отвора на заготовката O_z ще опише окръжност с радиус, равен на моментното отклонение е между двете оси (фиг.2).



**Фиг.1 Схема на разстъргване на отвор с подвижен двуножов блок:
1-заготовка; 2-борщанга; 3-режещ блок**

На фиг.2 е разгледан единият от трите възможни случая, при който центърът на симетрия на блока C съвпада с оста на въртене на машината O . За един пълен оборот на заготовката могат да се опишат геометрично всички възможни положения на сечението на отвора на заготовката спрямо двуножовия блок. На фигурата са показани четирите гранични положения по осите Y и Z при допускането, че блокът с размер $L_H = AB$ е неподвижен спрямо борщангата, а еластичните деформации са нулеви. Не е трудно да се установи, че положението 1 е идентично с 3, а положението 2 - с 4.



**Фиг.2 Гранични положения на отвора на заготовката при неподвижен
двуножов блок**

При тези условия ще са налице колебания на дълбочината на рязане, респективно силите на рязане, зависещи от големината на работния настроен размер на блока L_H и на отклонението e . При това тя ще е по-голяма в тангенциално направление O_z , от колкото в радиално O_y .

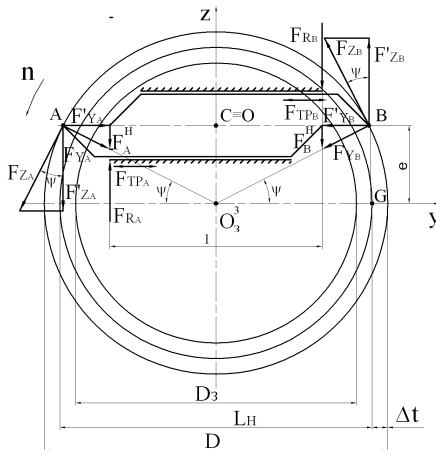
Ако фиг.2 се разгледа при подвижен режещ блок, стремещът за уравновесяване на радиалните сили на рязане F_{YA} и F_{YB} ще води до периодичното му преместване спрямо положенията 2 и 4 на отвора на заготовката, така че центърът C да съвпада с O_3^2 и O_3^4 . Преместването се реализира под действие на силата $\Delta F_Y = |F'_{YA} - F'_{YB}|$ и продължава докато е изпълнено условието $\Delta F_Y > F_{TP}$, където F_{TP} е силата на

триене между направляващите и блока (фиг.3). При $\Delta F_Y \leq F_{TP}$, последният остава неподвижен спрямо борщангата, което съответства на приблизително равенство на дълбочините, респективно силите на рязане за двата ножа.

Завъртането на отвора на заготовката от положение 2 към 3 или 4 към 1 води до нарастване на дълбочините на рязане, което се отразява върху силовото натоварване и условието за равновесие на блока.

За установяване на силовите зависимости, произтичащи от не съвпадането на осите е направен геометричен анализ на силите (фиг.3), действащи върху подвижния блок, за положение 3 от (фиг.2). Освен посочените до тук ограничения се приема, че двете режещи части имат еднаква геометрия и интензивност на износване, а върховете им лежат в равнина, перпендикулярна на оста на въртене на машината. Приема се, че дълбочините на рязане за двете режещи части са еднакви, а промяната в геометрията им е пренебрежима.

От фиг.3 се вижда, че в резултат от отклонението е на оста O спрямо оста O_3^3 на симетрия на отвора на заготовката дълбочината на рязане t нараства с Δt . При това се увеличават силите на рязане и се формира диаметър $D = L_H + 2\Delta t$. Освен това радиалните сили на рязане F_{YA} и F_{YB} предизвикват възникването на напречни сили F_A^H и F_B^H , действащи в посока, противоположна на отклонението е.



Фиг.3. Схема на силовото натоварване на подвижния блок при отклонение спрямо оста на въртене в тангенциално направление

Нарасналите сили на рязане могат да се изчислят чрез известните емпирични зависимости [Малов и др.1972] ако се определи увеличената дълбочина на рязане

$t_A = t_B = \frac{D - D_3}{2}$, където D е моментния диаметър на обработения отвор.

От геометричното построение на фиг.3 се вижда, че

$$t_A = t_B = t + \Delta t = \frac{L_H - D_3}{2} + \Delta t, \quad (1)$$

а
$$\Delta t = O_3^3 B - \frac{L_H}{2}. \quad (2)$$

От правоъгълния триъгълник $O_3^3 GB$

$$O_3^3 B = \sqrt{O_3^3 G^2 + BG^2} = \sqrt{\left(\frac{L_H}{2}\right)^2 + e^2}, \quad (3)$$

при което $\Delta t = \frac{L_H}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2e}{L_H}\right)^2} - 1 \right).$ (4)

След заместване на (4) в (1) и преобразуване

$$t_A = t_B = \frac{L_H}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{2e}{L_H}\right)^2} - \frac{D_3}{2}. \quad (5)$$

При известни сили на рязане може да се запише, че

$$F_A^H = F_{YA} \sin \psi,$$

$$F_B^H = F_{YB} \sin \psi, \quad (6)$$

където, от $\Delta O_3^3 GB$, $\psi = \arctg \frac{2e}{L_H}.$

Тъй като положението 3 от фиг.2 е момент от равномерното въртливо движение на заготовката в указаната посока, то от него нататък условното равенство между силите на рязане ще се наруши. Отворът на заготовката ще се премества към положение 4, а блокът – към режещата част B под действие на силата ΔF_Y . При това дълбочината на рязане намалява и достига минимална стойност $\frac{L_H - D_3}{2}$, когато отворът на заготовката заема положение 4.

През пълния цикъл на завъртане на заготовката около оста O силите на рязане периодично променят големината си и с това оказват влияние върху силите на триене, които се съпротивляват срещу преместването на блока в направление O_Y . При описаната конструкция на направляващите това са силите $F_{TP.A}$ и $F_{TP.B}$ (фиг.3), причинени от тангенциалните сили на рязане F_{ZA} и F_{ZB} , както и силата на триене $F_{TP.X}$, причинена от не означените на фигурите осови сили на рязане F_{XA} и F_{XB} .

Сумарната сила на съпротивление от триенето между блока и направляващите му ще бъде

$$F_{TP} = F_{TP.A} + F_{TP.B} + F_{TP.X}, \quad (7)$$

Силите на триене могат да бъдат получени чрез зависимостите:

$$F_{TP.A} = F_{RA} \cdot \mu; \quad F_{TP.B} = F_{RB} \cdot \mu;$$

$$F_{TP.X} = (F_{XA} + F_{XB}) \cdot \mu, \quad (8)$$

където μ е коефициент на триене между блока и направляващите му.

За определянето на F_{RA} и F_{RB} - двоицата сили, уравновесяващи момента от действието на тангенциалните сили на рязане и на напречните сили се използват условията за равновесие на силите по оста O_z и на моментите спрямо оста O .

$$\left[(F'_{ZA} + F_A^H) + (F'_{ZB} - F_B^H) \right] \frac{L_H}{2} - \frac{l}{2} (F_{RA} + F_{RB}) = 0$$

$$F'_{ZA} + F_A^H - F_{RA} + F_B^H + F_{RB} - F'_{ZB} = 0 \quad (9)$$

където l е дължината на направляващите.

Съгласно тезата за уравновесяване на силите на рязане и фиг.3

$$\begin{aligned} F'_{ZA} &= F'_{ZB} = F_Z \cos \psi; F'_{YA} = F'_{YB} = F_Y \cos \psi; \\ F^H_A &= F^H_B = F_Y \sin \psi \end{aligned} \quad (10)$$

В резултат от решаване на системата (9) съобразно (10) и (6) се получава

$$F_{RA} = \frac{L_H}{l} F_Z \cos \psi + F_Y \sin \psi; F_{RB} = \frac{L_H}{l} F_Z \cos \psi - F_Y \sin \psi. \quad (11)$$

След заместване на (11) и (8) в (7) и отчитане, че $F_{XA} = F_{XB} = F_X$ изразът за определяне на сумарната сила на триене добива вида

$$F_{TP} = 2\mu \left(\frac{L_H}{l} F_Z \cos \psi + F_X \right) \quad (12)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разстъргване с двуножов подвижен блок несъвпадането на оста на въртене на машината с осите на симетрия на напречното сечение на отвора и инструмента води до периодична промяна на дълбочините, респективно силите на рязане. Максималните им стойности се получават когато отклонението между осите е в равнина, перпендикулярна на направлението на радиалното преместване на блока. Възникналите в тази равнина напречни сили имат еднородно действие и предизвикват натоварване на борщангата на огъване. Доказано е, че те не оказват влияние върху сумарната сила на триене между блока и направляващите. Чувствителността на блока към разликата между радиалните сили на рязане зависи от отклонението е чрез отражението му върху големината на силите на рязане F_Z и F_X .

При тези резултати може да се очаква, че несъвпадането на споменатите оси ще доведе до грешка на формата в напречно сечение, изразяваща се в нарастване на диаметъра на обработената повърхнина в направление O_z . В случая $O \equiv C$ нарастването би било симетрично в двете посоки. В останалите случаи се очаква несиметричност с по-силно изразено нарастване на диаметъра в посоката на изместване на центъра C спрямо оста O .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кирсанов С.В. и др. Инструменти для обработки точных отверстий М., Машиностроение, 2003
- [2] Малов А.Н. и др. Справочник технолога машиностроителя-том 2, М; Машиностроение, 1972
- [3] Кършаков М.К, Н.А.Георгиева, П.П.Петров Изследване поведението на подвижни двуножови блокове при разстъргване на отвори, Русе, Научна конференция АМТЕСН 2005, том 44, серия 2, стр.452-457
- Малов А.Н. и др. Справочник технолога машиностроителя-том 2, М; Машиностроение, 1972

За контакти:

Адриан Петров, Русенски университет "Ангел Кънчев", Специалност "Технология на металите и материалознание"

ас. инж. Павел Петров, Русенски университет "Ангел Кънчев", Катедра „Техническа механика“, тел.: 082-888 474, e-mail: ppetrov@ru.acad.bg.

Модели за формообразуване на конструкции, работещи на натиск

автор: Димитър Велчев

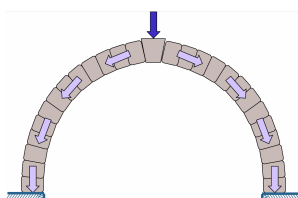
научен ръководител: доц. д-р Марко Тодоров

Form-finding models of fully compressed structures: The paper describes various physical models in a form-finding process of fully compressed structures used to determine the shape of their equilibrium. A brief analysis of their advantages and disadvantages has been presented as well as the possibilities of their mathematical representation. A few approaches for computer simulations and the opportunities for architects and designers of using these simulations have been discussed.

Key words: Form-finding, funicular form, models, compressed structures.

1. Въведение

Една от най-рационалните конструктивни форми е дъгата (арки, гъвкави нишки и др.) Елементи с такава форма работят главно или на чист опън, или на чист натиск (фиг.1), което води до пълноценно използване на вложения материал. Поради това те са получили широко разпространение в редица конструкции – вантови, тентови, мрежести, аркови, сводове, куполи и др.



Фигура 1. Арка под действие на вертикален товар.

Във висящите конструкции, чиито елементи работят на опън, равновесната форма на провисналата дъга е „самонагаждаща се“ в зависимост от натоварването, докато при работещите на натиск подобна гъвкавост не съществува – за дадено външно натоварване и натоварване от собственото тегло на конструкцията, изключването на огъващите моменти е възможно само при строго определена форма. Последното, наред с редицата други изисквания (функционални, естетични и др.), води до значителни трудности при тяхното формообразуване. Едновременно с това конструкциите, работещи

на натиск, се използват от най-дълбока древност – дълги години те са били единственото средство, което е позволявало камъкът и тухлата да се вграждат не само в стени и колони, но и в покривни конструкции, като по този начин са постигнати истински шедеври на архитектурата.

Въпреки вековното развитие на този вид конструкции, проблемите при тяхното формообразуване все още не са загубили актуалност. С въвеждането на нови материали и технологии, нарастват и изискванията към тях – в строителните конструкции се увеличават дължините на междуопорните разстояния и големините на покривните площи, а архитекти и дизайнери използват все по-голямо разнообразие от форми от естетични и други съображения. Освен в строителството, тези конструкции намират широко приложение и в изграждането на временни навеси, реклами, павилиони за изложения, оформяне на вътрешни пространства, инсталации и др.



Фигура 2. Павилион със стъклен купол.

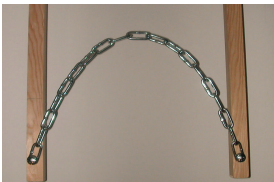
При последните нарастват възможностите за разнообразие от форми, поради ограничените съчетания на натоварванията – най-често те са натоварени само от собственото си тегло и в редица случаи дизайнерите се водят само от интуицията си при тяхното проектиране. Последното може да доведе до избор на нерационални конструкции с неефективно използване

на материалите, завишени маса и стойност, а също до застрашаване на живота и здравето на хора, както и до значителни материални загуби.

В настоящата статия са разгледани физични (експериментални) модели, използвани за формообразуване на конструкции, работещи на натиск, както и техните математични модели, които могат да се използват за създаване на CAD системи, улесняващи до голяма степен този процес.

2. Физични (експериментални) модели

През 1675 год. Робърт Хук [1], наред със знаменитото „*ut tensio, sic vis*” (каквото е разтягането, такава е и силата), формулира и следния по-малко известен закон : „*ut pendet continuum flexible, sic stabit continuum rigidum inversum*” (както виси гъвкава



Фигура 3. Пример на закона на Хук.

цялост, така стои обърната твърдата). Среца и следната трактовка : „Както висят брънките на верига, така се опират и блоковете на арка”. Тъй като гъвкавият елемент (нишка, въже, верига и пр.) няма огъвна коравина или тя е пренебрежимо малка, формата, която заема под действие на собственото си тегло е такава, че той е подложен на чист опън и като се обърне на обратно и „вкорави”, получената арка ще е подложена на чист натиск (фиг. 3). Една от причините този закон да остане малко известен е, че така получената форма е оптимална, само ако преобладаващото натоварване на арката е от собственото ѝ тегло. В най-разпространените в строителната практика случаи [2] преобладаващите натоварвания се доближават до вертикални равномерно разпределени (сняг, пътно платно при мостовете и др.) и тогава оптималната форма е квадратна парабола, а когато товарът е равномерно разпределен нормално към повърхността на арката (вятър и др.) – формата е окръжност.



Фигура 4. Порталната Арка в Сент Луйз, Мисури.

Едно от най-ярките приложения за арка с форма, получена по гореописания принцип, е „Порталната Арка” в Сент Луйз, която представлява стоманена конструкция с височина 630 ft (192m) и същото междуопорно разстояние (фиг.4).

Моделът на Хук е развит за да се получат по-сложни пространствени конструкции с различни натоварвания. През двадесетте години на миналия век, известният архитект Антонио Гауди използва тази идея, създавайки висящи нишкови модели за своите конструкции, състоящи се от сложно вплетени елементи – арки, куполи, сводове, колони. Всяка нишка в тях представлява колона, арка или подкос, много от тях окачени и висящи едни от други. Товарите, извън собственото тегло на нишките, са представени чрез окачени торбички с пясък (фиг.5). По този начин са проектирани редица шедьоври на архитектурата, като църквата в „Колония Гуел“, „Саграда Фамилия“, арките на „Дом Мила“ и др. За да получи представа за непрекъснатата пространствена форма, Гауди използва парчета плат, които окачва между нишките, фотографира външните и вътрешните пространства и рисува върху



фотографските плаки [3].

Основен недостатък на висящия нишков модел на Гауди е, че не дава информация за разпределението на напреженията в получената форма и от него е невъзможно да се определят размерите на сеченията на конструкцията. Следователно той дава само една приближена представа за оптималната форма – полученото от модела равновесно решение, може да се запази само, ако се запази разпределението на масите.

По-късно подобна идея е използвана и доразвита и от шведския инженер и архитект Хайнц Излер [4]. През периода от началото на петдесетте до края на седемдесетте години на миналия век, той създава над 1200 бетонни покривни черупкови конструкции (фиг.6), често покриващи площи над 800 m² с междупорни разстояния над 30 m при дебелина на черупката около 80 mm. При проектирането им използва висящи модели от текстил, като вертикалното външно натоварване е



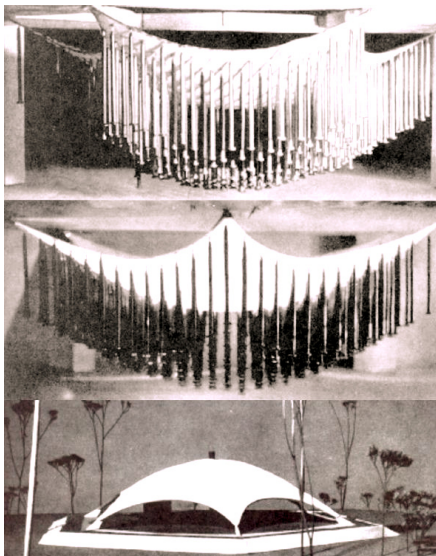
моделирано чрез окачване на множество тежести (фиг. 7), след което текстилът се втвърдява с помощта на гипс, полиестер, намокряне и замразяване и др.

Фигура 5. Нишкови модели на Гауди за оформяне на вънното и вътрешното пространство.



Фигура 6. Бетонна черупка, проектирана от Излер.

тяхното уплътняване. Освен това текстилната мембрана има двумерно напрегнато състояние, при което освен разликите в модулите на еластичност на модела и реалната конструкция, трябва да се вземат под внимание и разликите в коефициентите на Поасон.



Фигура 7. Текстилни модели на Излер на тънкостенни черупки [4].

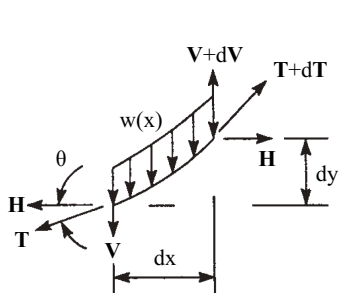
сиращи точки и натоварена със съсредоточени сили и от собственото си тегло, са решени отдавна и са добре познати в инженерната практика [5]. Най-простият модел е безмасова неразтеглива нишка с приложени произволни съсредоточени сили. При зададени координати на точките на окачване и провисването на една от точките, в които са приложени силите, задачата може да се реши с методите на статиката – графично или аналитично. Чрез този модел лесно може приблизително да се получи търсената форма, като разпределените товари се представят чрез поредица от съсредоточени сили. Точно определяне на формата при определени функции на натоварването (равномерно, нормално разпределено) може да се извърши чрез решаване на диференциалното уравнение на гъвкавата нишка (фиг. 8.) :

Излер разработва методи за изпитване на получените по този начин полиестерни тънки черупки, като определя напреженията в моделите чрез тензометриране и изследва тяхното поведение при загуба на устойчивост. На базата на огромното количество експерименти, той извежда редица емпирични зависимости, които и до днес се използват за верифициране на компютърни симулации. Основните неточности на неговите модели се основат на анизотропията на текстила по направление на влакната и силно нелинейните му свойства, поради вкоравяване в следствие на

3. Математични модели

Освен поради горепосочените недостатъци, използването на експерименталните модели е силно затруднено поради следните две причини. Първо, създаването на модела е трудоемка задача, изискваща много време и търпение, за да се достигне до желаната форма, и второ, след като моделът е създаден, е трудно той да бъде измерен, за да се състави проектно-конструктурска документация. Тези проблеми могат да се преодолеят до голяма степен чрез използване на математични модели и компютърни симулации при формообразуването. Получените по този начин геометрични модели, освен за изготвяне на документация, могат да се използват и за анализ на напрегнатото и деформирано състояние по метода на крайните елементи (МКЕ).

Задачите за определяне на формата на неразтеглива нишка, окачена в две фиксирани точки и натоварена със съсредоточени сили и от собственото си тегло, са

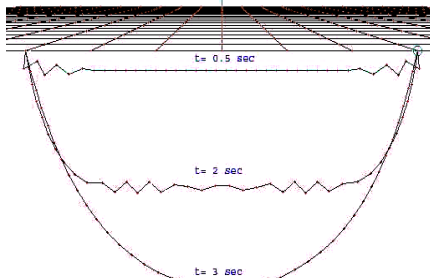


Фигура 8. Равновесие на елементарен елемент от нишката [5].

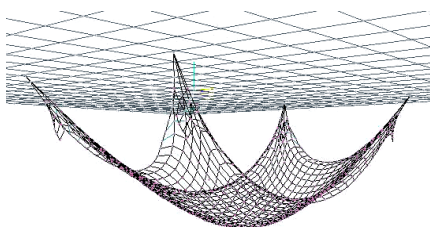
$$H \frac{d^2 y}{dx^2} = w(x).$$

При съставяне на по-сложни пространствени модели, представляващи системи от нишки, в които освен във фиксирани точки, нишките са окачени една за друга (пространствени мрежи) се получават системи от нелинейни диференциални уравнения, чието решение е силно затруднено.

При тяхното моделиране се срещат два подхода: чрез създаване на специален краен елемент (КЕ), описващ поведението на нишката, и решаване на нелинейна статична задача по МКЕ [6] и чрез КЕ – линейни пружини, свързани помежду си с елементи, представляващи съсредоточени маси [7], като външното натоварване се получава от действието на гравитационно ускорение. Първият подход не е много ефективен поради големите премествания и значително по-малките деформации в системата.



Фигура 9. Изчислителен процес за нишка с 40 масови КЕ [7].



Фигура 10. Квадратна мрежа, окачена в четирите си края [7].

За определяне на равновесното състояние при втория подход съществуват редица числени методи с различна степен на ефективност и стабилност. Основно те се делят на две основни групи – с пряко и непряко интегриране. За конкретната система са по-подходящи методите с непряко интегриране, поради голямата коравина на пружинните КЕ, обусловена от необходимостта промяната в първоначално зададените дължини да е минимална. За да се избегне осцилацията на системата, се добавят и коефициенти на линейно съпротивление на пружинните елементи и на средата. Примери за такава симулация на поведението на система от пружини и съсредоточени маси са дадени за фиг.9 и фиг.10.

5. Заключение

Разгледаните физични (експериментални) и математични (числени) модели позволяват един нетрадиционен подход при формообразуването на конструкции подложени на натиск. С тяхна помощ могат да бъдат постигнати огромни разнообразия от форми и конструктивни решения. Едновременно с това, в съчетание със съвременните средства за инженерен анализ, те могат да послужат като своеобразен „филтър“ на творческото възбуждане на архитекти и дизайнери.

6. Литература

- [1] Heyman, J. Structural Analysis: A Historical Approach, Cambridge University Press, 1998.
- [2] Симеонов, С. Статика на строителните конструкции. Част 1, Техника, София, 1993.
- [3] Tomlow, J. The Model: Antoni Gaudi's hanging model and its reconstruction – New light on the design of the church of Colonia Guell, Information of the Institute for Lightweight Structures, No. 34, University of Stuttgart, 1989.
- [4] Chilton, J. Heinz Isler. The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture, Thomas Telford, London, 2000.
- [5] Megson, T. Structural and Stress Analysis, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington, 2005
- [6] Andreu, A. Analisis de la estabilidad de estructuras de obra de fábrica mediante simulación coputacional de modelos funiculares. Proyecto de tesis. 2003. UPC
- [7] Kilian, A., Ochsendorf, J. Particle-Spring Systems for Structural Form Finding, J. of International Association for Shell and Spatial Structures, Vol. 46, 2005

За контакти: ст. ас. Димитър Велчев, Катедра “Техническа механика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 0899 360 122, E-mail: dvelchev@ru.acad.bg

Механични характеристики на многослойни покрития, отложени върху стомана 9ХС

автори: Ваня Захариева, Марияна Иванова
научен ръководител: доц. д-р Иван Дерменджиев

Резюме: Многослойни, твърди, износоустойчиви покрития от типа TiN/Ti/... и TiC/TiN... са отложени върху подложки от стомана 9ХС чрез магнетронно разпрашване във вакуумна пещ на мишена от техническа титанова сплав ВТ3-1 и циклична смяна на реакционните газове N_2 и CH_4 . Изследвани са адхезионната и кохезионната якост чрез скрач-тест. Твърдостта е измерена със специализиран микротвърдомер-нанотестер с компютърно управление, марка FISCHERSCOPE® H100 (Германия).

Ключови думи: Многослойни покрития, TiN, TiC, Hf, Hf, твърдост, скрач-тест, адхезия, кохезия

1. ВЪВЕДЕНИЕ

С развитието на новите технологии все повече се повишават изискванията към конструкционните материали. Налага се работните елементи да съчетават стабилност на размерите, висока механична якост, износоустойчивост и други функционални свойства [1, 4]. Многослойните покрития се явяват ново и прогресивно средство за подобряване на тези свойства. Различните видове многослойни системи се прилагат в различни области, където се изискват повишени механични характеристики. Еднослойните такива не винаги задоволяват тези изисквания, тяхното използване не позволява контролирането на структурата, вътрешните напрежения и следователно свойствата на покритията. За разлика от тях многослойните системи, при правилно подбран технологичен процес на получаване, имат редица предимства: отлична адхезия, твърдост, износоустойчивост и минимум остатъчни напрежения [2, 5]. Последователното отлагане на различни по свойства слоеве позволява да се получат многослойни структури, които съчетават качествата и свойствата на различните видове покрития [3]. Интересът към твърдите износоустойчиви покрития на основата на преходните метали продължава да расте. Те се отлагат главно чрез магнетронно разпрашване и катодно изпаряване, като е възможно комбинирането на двата метода в лабораторни и промишлени условия.

В еуфорията на Ni технологиите много бързо е преминато през 5-6 слойните покрития към 150-300 слойни и наноструктурирани такива.

Остава неизследвана точно нишата на този тип покрития, които са много подходящи за нанасяне върху инструменти употребявани в общото машиностроене.

Затова цел на настоящата работа е изследване на механичните характеристики твърдост и износоустойчивост на 2-5 слойни покрития с различен водещ подслой отложени върху стомана 9ХС във вакуумна пещ чрез магнетронно разпрашване на титанова сплав ВТ3-1 и последователна смяна на реакционните газове – азот и метан.

2. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА И ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Покритията са отложени в еднокамерна вакуумна пещ снабдена с небалансиран DC (правотоков) магнетрон [3]. При начален вакуум $3.8 \div 9.5 \cdot 10^{-4}$ [mbar], преди отлагане на покритието, подложките са нагрявани до температура на метализиране $T_m = 500^\circ$ [C]. След вакуумиране до $4 \div 6 \cdot 10^{-4}$ [mbar], подложките са почистени с тлеещ разряд в поток на Ar 20 [sccm] и налягане $1.5 \cdot 10^{-1}$ [mbar] в продължение на 10 [min] и напрежение -900 [V]. Мишената от титанова сплав ВТ3-1 (89,53 %Ti; 5,77 %Al; 1,42 %Cr; 2,04 %Mo; 0,38 %Fe; 0,28 %Si) е разпрашвана в продължение на 120 [min] при налягане $4 \div 5.9 \cdot 10^{-3}$ [mbar] и мощност 2 [kW], (I_p 7 A) в

поток от $\text{Ar} \sim 11$ [sccm], $\text{CH}_4 \sim 22$ [sccm] и $\text{N}_2 \sim 3.1 \div 5.3$ [sccm]. Скоростта на кондензация [Vк] при разстояние мишена – подложка $L-m = 95$ [mm] за долно и 70 [mm] за горно ниво е била съответно 0,09 и 0,15 [$\mu\text{m}/\text{min}$].

Проведени режими

Таблица 1

Ре- жим №	Покритие	$P_{\text{нач}}$ [mbar]	$P_{\text{раб}}$ [mbar]	U [V]	U_n [V]	I [A]	G_N	G_{CH_4}	Време [min]
0	TiN	9.5×10^{-4}	5.1×10^{-3}	300	0	7	3+3.2	-	120
1	TiN	6.2×10^{-4}	4.7×10^{-3}	320	0	7	5.2	-	120
2	TiC	3.8×10^{-4}	5.9×10^{-3}	340+360	0	7		30+32	120
3	TiN/TiC	4.7×10^{-4}	4.4×10^{-3}	320+340	~	7	4	30	60/60
4	TiN/TiC/TiN	3.7×10^{-4}	4.0×10^{-3}	320	*	7	4	30	40/40/40
5	TiN/TiC/TiN/TiC	9.5×10^{-4}	4.2×10^{-3}	340	**	7	4	30	30/30/30/30
6	TiN/TiC/TiN/TiC/TiN	3.6×10^{-4}	4.7×10^{-3}	320+340	0	7	4	30	24/24/24/24/24
7	TiC/TiN	5.9×10^{-4}	5.6×10^{-3}	320+380	0	7	4+4.2	30+31	60/60
8	TiC/TiN/TiC	9.2×10^{-4}	4.7×10^{-3}	300+400	0	7+7.2	4	30+34	40/40/40
9	TiC/TiN/TiC/TiN	3.7×10^{-4}	4.3×10^{-3}	320+380	0	7	4	32+34	30/30/30/30
10	TiC/TiN	7.2×10^{-4}	5.3×10^{-3}	380	0	7	4	33+34	60/60

Забележка : за всички режими $T = 500^\circ\text{C}$; $G_{Ar} = 8 \text{ del}$.

* Режимът е проведен при плаващ потенциал на подложките

**Режимът е проведен при плаващ потенциал на подложките за време от 5 мин

Преди нанасяне на основното покритие $(\text{Ti}, \text{Me})\text{C}/(\text{Ti}, \text{Me})\text{N}$ е отлаган междинен слой $\text{Ti}_{(\text{Me})}$ с дебелина $0.8 \div 1.2$ [μm] при разпръскване на мишената в поток от $\text{Ar} \sim 11$ [sccm]. В процеса на работа при нулев потенциал на подложката са отложени покрития с брой на основните подслоеви от един до пет с промяна на водещия подслой TiN(TiC). Използвани са подложки от стомана 9XC (C-0.85 $\pm$ 0.95%; Mn-0.30 $\pm$ 0.60%; Si-1.20 $\pm$ 1.60%; Cr-0.95 $\pm$ 1.25%). Проведени са 11 режима - Таблица 1.

Адхезията и кохезията на покритията са изследвани по метода на надраскването с помощта на специализиран уред CSEM-REVETEST® (Швейцария)

Механичните характеристики универсална твърдост H_U и пластична твърдост H_{pl} са определени чрез измерване в план с нанотестер FISCHERScope H100. Измерването е извършено по метода на Викерс като са използвани натоварвания от 50, 100, 500 и 1000 mN.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

3.1. Твърдост

Получените резултати от дюрометричния анализ са представени на (фиг.1, 2., 3.) При измерване на твърдостта в план трябва да се имат предвид следните изисквания за съотношението между отделните параметри [6] :

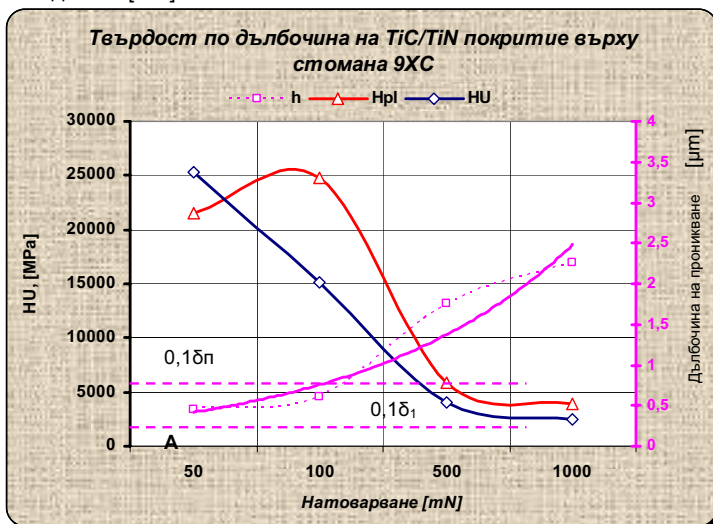
1. Дълбочината на проникване (h) да бъде по-голяма от грапавостта на покритията (R_z) - в противен случай ще се отчете предимно пластичната твърдост, а разсейването на резултатите ще бъде по-голямо от 50%.

2. Дълбочината на проникване (h) трябва да бъде по-малка от 0.1 δ_{pl} (дебелината на цялото покритие), за да се избегне влиянието на подложката.

3. Да е спазено съотношението $h/R_z > 1$.

Друга особеност при измерване в план на многослойни покрития е това, че всеки следващ слой се явява подложка на предходния, което „деформира“ резултатите и ги прави недостатъчно коректни. Неточности при измерването се

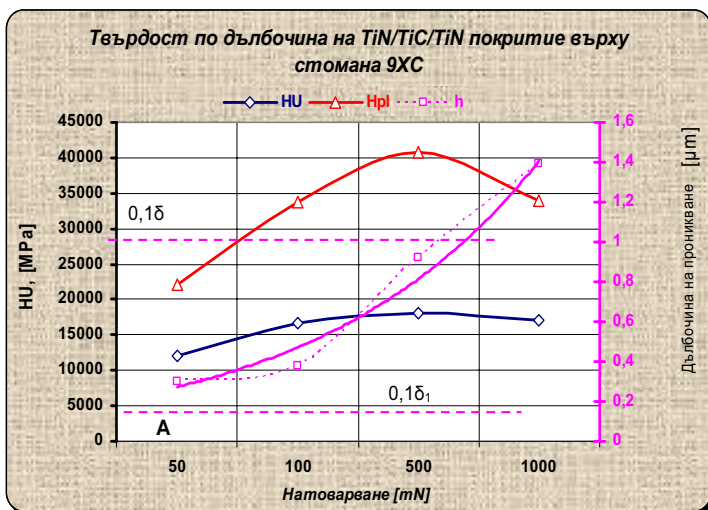
очакват при нарушаване на изискването за съотношението на дълбочината на проникване към дебелината на покритието. Според тях върху фигурите могат за бъдат очертани границите на интервала на коректно измерване. Горната граница е $0.1\delta_p$ (0,1 от дебелината на цялото покритие), след нея започва да оказва влияние подложката. От предварителния анализ на получените резултати се вижда, че във всички случаи за коректни и достатъчно достоверни могат да се считат тези, измервания получени при натоварване до 100 [mN] и само в някои от тях-при натоварване до 500 [mN].



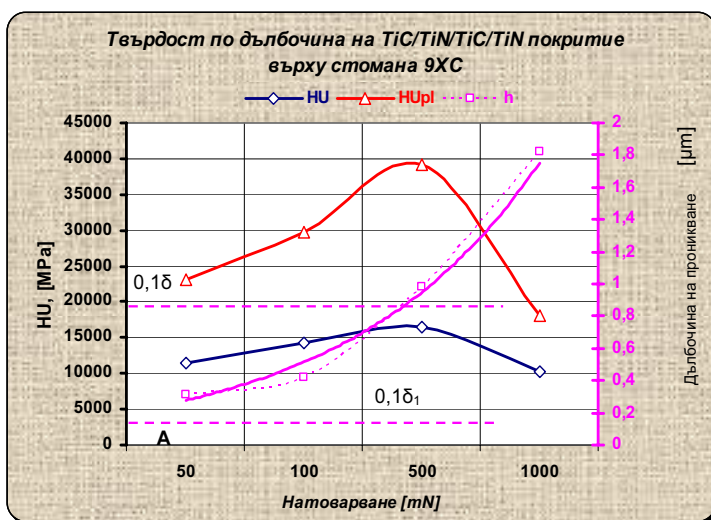
Фиг.1. ДюрOMETричен анализ на трислойно покритие с водещ нитриден подслоя

При многослойно покритие трябва да се има предвид и гореказаното за влиянието на следващия подслоя. Ако прониквания слой е достатъчно дебел, то измерената твърдост ще бъде на първия слой. Ако се наруши изискването $0.1\delta_1$ (0,1 от дебелината на първия от повърхността слой, в която твърдостта не се влияе от твърдостта на следващия), то твърдостта ще показва и влиянието на следващият подслоя. В зависимост от неговия фазов състав и твърдост тенденцията на линията с увеличаване на h ще бъде възходяща при последователност TiN/TiC и низходяща при TiC/TiN. Следва да се очаква, че при достигане на определен брой на слоевете няма да има тенденция на нарастване или намаляване на твърдостта с увеличаване на дълбочината на проникване, тъй като на всяка дълбочина ще има еднакъв брой слоеве от двата вида фази.

Долната граница, определяща минималната дълбочина на проникване с оглед избягване на влиянието на грапавостта е $h/R_z > 1$. В някои случаи, особено при по-голям брой слоеве с по-малка дебелина няма да може да се измери твърдостта на първия подслоя без влиянието на следващите. Представлява интерес едно изследване за критичния брой на слоевете, при което изчезва влиянието на следващия слой върху измерената твърдост, т.е. достигане на многослойна структура, която има поведение на еднородна хомогенна такава. Освен от фазовия състав твърдостта се влияе и от коефициента на текстурираност, като най-високи нейни стойности се очакват при коефициент на текстурираност по направление $\langle 220 \rangle$.



Фиг.2. ДюрOMETричен анализ на четиристойно покритие с водещ карбиден подслой



Фиг. 3. ДюрOMETричен анализ на двустойно покритие с водещ карбиден подслой

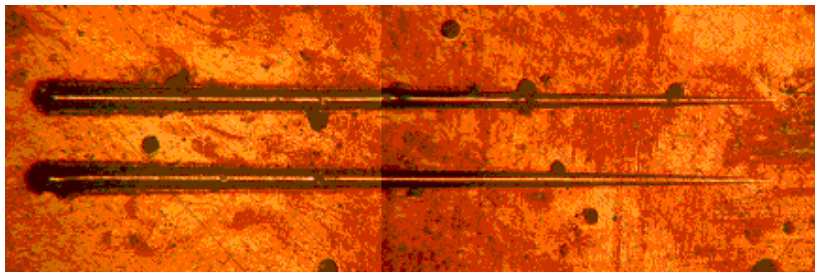
3.1. Скрач-тест

Чрез метода Scratch-test са определени комплексно адхезионната и кохезионната якост на покритията. При многослойни покрития с дифузионна или микродифузионна връзка, (какви са получените) той дава информация не толкова за адхезията, колкото за кохезията в рамките на отделните слоеве. Поради спецификата на отлагане, слоевете преминават сравнително плавно един към друг,

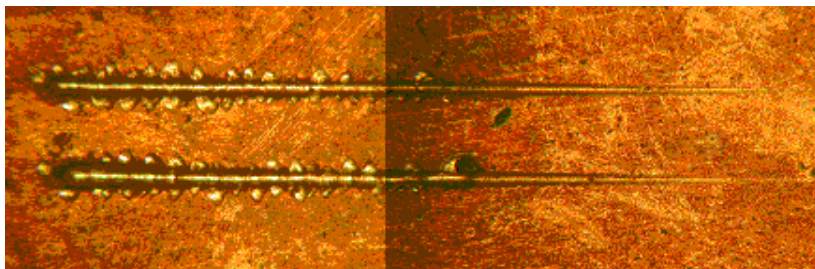
следователно би могло да се разглеждат като монолитен материал, а не като покрития от адхезионен тип.

Експериментите показват, че процентното съдържание на азот в покритието се явява определящо в екстремните условия на скрач-теста.

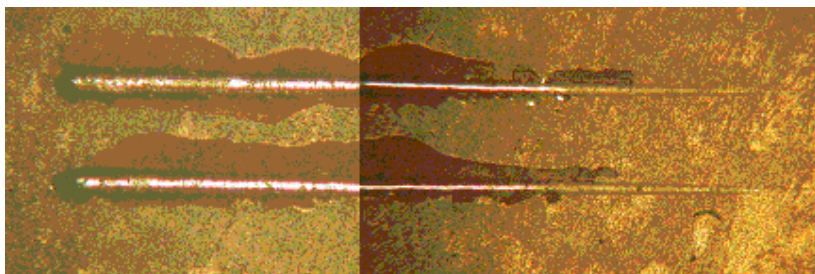
При подстехиометрично покритие (фиг.4.-а/) няма видимо разрушаване, което говори за добра кохезия [4].



а/



б/



в/

Фиг.4. Скрач-тест на еднослойно подстехиометрично-а/, надстехиометрично -б/, и трислойно покритие $\text{TiC}/\text{TiN}/\text{TiC}$ -в/

Резултатът може да се свърже с известното от литературата [5, 6], че твърдостта му е по-ниска, а пластичността по-висока в сравнение със стехиометричните покрития. В случая обаче, вероятно по стойност тя е по-висока от тази на надстехиометричното, което предопределя по-голямата му крехкост и съответно по-ниска кохезия.

Що се отнася до надстехиометричното покритие (фиг.4.-б/), твърдостта му е също по-малка от тази на стехиометричното. В случая вероятно поради преситеност със азот е повишена крехкостта на покритието, и това определя по-ниската му кохезия. Затова поведението на трислойното покритие е аналогично на подстехиометричното (фиг. 4-в/). Би следвало наличието на завършващ карбиден слой, характеризиращ се с по-голяма твърдост и преобладаващ йонен характер на междупломната връзка да води до разрушаване и лоша кохезия, което не се наблюдава. Причината за това може да се търси във факта, че повърхността на покритието е "отлющена" – крехкият слой отсъства и на практика резултатът се отнася за слоя от нитрид в рамките на интервала на натоварване.

Получените резултати относно поведението на покритията при разрушаване не показват "отлющване" от подложката, както при адхезионна връзка, което косвено потвърждава наличието на микродифузионна такава.

ИЗВОДИ:

1. Измерването на твърдостта в план при многослойните покрития не може да покаже разпределението ѝ в дълбочина. В случая важна роля освен подложката играят отделните слоеве, които се явяват подложка за всеки следващ слой. Това налага да се проведе измерване в напречен шлиф със специален нанотестер.
2. Върху твърдостта оказват влияние: последователността на отлагане на подслоеве, стойността на коефициента на текстурованост, съотношението на дебелините на отделните слоеве, химичният състав на фазите и броят на слоевете респ. броят на преходните карбонитридни слоеве.
3. Профилът на линията на твърдостта се определя от последователността на отлагане на слоевете, като при редуване TiN/TiC има възходяща линия в границите на двойката, а при TiC/TiN – низходяща. Това се проявява толкова по-добре, колкото по-дебели са отделните подслоеве.
4. Най-добри резултати при скрач-теста показват покритията с подстехиометричен състав, при които липсват пори и пукнатини.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Musil Surf. Coat. Techn. 125 (2000) 322-330
- [2] Шишков Р. и др. НФНИ, Проект 2005-МТФ-02, Отчет, РУ "А.Кънчев", 2006
- [3] Шишков Р. „Вакуумно дефузионно метализиране“ Дисертация, РУ"А.Кънчев", Русе, 2004 г
- [4] <http://www.memsnets.org/material/titaniumoxidetio2film/>
- [5] Rocha, L.A. et al., Structural and corrosion behaviour of stoichiometric and substoichiometric TiN thin films, Surface and Coatings Technology, 180–181 (2004) 158–163.
- [6] Friedrich C., Berg G., Broszeit E., C. "Berger" Measurement of the hardness of hard coatings using a force indentation function "Thin Solid Films" 290-291(1996) 216-220

За контакти:

Ваня Георгиева Захаријева, докторант, катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: (082) 888 318, e-mail: vanjazaharieva@yahoo.com

Доц. д-р Иван Д. Дерменджиев, катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: (082) 888 204, e-mail: ivadim@ru.acad.bg

Рентгеноструктурен анализ на многослойни Ti/TiN/TiC и Ti/TiC/TiN покрития след термична обработка отложени магнетронно върху стомана 9XC

автор: Ваня Захаријева, Цветомир Николов
научен ръководител: доц. д-р Иван Дерменджиев

Резюме: Върху стомана 9XC чрез магнетронно разпръскване на мишена от сплав BT3-1 във вакуумна пещ и последователно натичане на реакционните газове CH_4 и N_2 са отложени, дву- до петслойни покрития от типа Ti/TiC/TiN...и Ti/TiN/TiC.... Използван е небалансиран правотоков магнетрон. Работата е част от комплексни изследвания, свързани с възможността за отлагане на многослойни покрития върху нетоплоустойчиви и полупотлоустойчиви стомани и последващо уякчаващо ТО. Посредством рентгеноструктурен анализ е определен фазовият състав и е пресметнат коефициента на текстурираност на покритията преди и след ТО. Покритите образци са закалени в двукамерна вакуумна пещ заедно с реални изделия от същата стомана.

Ключови думи: (MS)-магнетронно разпръскване, многослойни покрития, TiN, TiC, термично обработване, фазов състав, коефициент на текстурираност.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Повишените изисквания към материалите са свързани, най-често в комплекс, с високите работни скорости и натоварвания върху машиностроителните части, температурата и агресивността на работните среди. Еднослойните покрития не винаги отговарят напълно на тези изисквания. Това е наложило развитието и използването на многослойни системи от типа TiN/CrN, TiN/TiC, CrN/CrC и др. Те дават по-широки възможности за контрол на структурата (фазов състав, текстура, вътрешни напрежения), а следователно - и свойствата на покритията. До момента са получени TiN/CrN, TiN/TiC, CrN/CrC нанометрични слоеве, а също и наномодулирани TiN покрития с модулационен период от 6 до 80 nm и обща дебелина на покритията от 100 до 400 nm [1, 6]. Отлагат се главно чрез магнетронно разпръскване и катодно изпаряване, като е възможно комбинирането на двата метода в лабораторни и промишлени условия. Едновременно с това се забелязва известно „загърбване или пренебрегване“ на системите с брой на слоевете до 5-6, които са много подходящи за инструменти употребявани в общото машиностроене. В исторически план в хода на развитието на технологиите и покритията, през тези системи се преминава, като че ли твърде бързо. Може да се каже, че те съдържат в себе си още скрити резерви. Изследвания в катедрата разкриват възможностите за получаване на такива покрития с микродифузионна или дифузионна връзка към подложка от инструментална стомана [2,3]. Това позволява създаването на качествено нови покрития, дава възможност за разширяване областта на приложението на стоманите /съчетано с подобрени в желаната посока свойства/ и накрая – разширява възможностите на използваните в практиката „стандартни“ вакуумни методи, съответно съоръжения за ТО и метализиране.

Целта е да се изследва влиянието на уякчаващото ТО върху фазовия състав и текстурата на 2÷5 слойни покрития от типа Ti/TiC/TiN... и Ti/TiN/TiC...отложени върху стомана 9XC във вакуумна пещ чрез магнетронно разпръскване на титанова сплав BT3-1 и циклична смяна на реакционните газове – азот и метан.

2. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА И ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Покритията са нанесени върху образци с размери $d = 20 \text{ mm}$ и $h = 6 \text{ mm}$ от стомана 9XC (C-0.85±0.95%; Mn-0.30±0.60%; Si-1.20±1.60%; Cr-0.95±1.25%). Мишената BT3-1 е от техническа сплав (Ti-89.5288%; Al-5.7718%; Cr-1.4205%; Mo-2.3636%; Fe-

0.38275; Si-0.2806%). Покритията са отложени в еднокамерна вакуумна пещ, оборудвана с небалансиран правотоков магнетрон [4]. При начален вакуум $6 \div 8 \cdot 10^{-4}$ mbar, преди отлагането, подложките са нагрявани до съответната температура на метализация $T_m = 500^\circ\text{C}$. След вакуумиране до $4 \div 6 \cdot 10^{-4}$ mbar, са почистени с тлеещ разряд в поток от Ar с дебит 20 sccm, налягане $1,5 \cdot 10^{-1}$ mbar за 10 min при напрежение -900 V. Покритията са отлагани в продължение на 120 min при налягане $4.0 \div 5.9 \cdot 10^{-3}$ mbar и мощност на разпръскване 2 kW в смес от потоци: Ar 8 sccm, CH_4 $30 \div 34$ sccm и N_2 $3 \div 5,2$ sccm, осигуряващи скорост на кондензация $0,09 \mu\text{m}/\text{min}$ за разстояние мишена-подложка $L_{m-p} = 70$ mm-горно и $0,03 \mu\text{m}/\text{min}$ - 95 mm за долно ниво. Преди основното покритие е отлаган междинен слой $\text{Ti}_{(\text{Me})}$ с дебелина $0,8 \div 1,2 \mu\text{m}$ при разпръскване на мишената в Ar с дебит 8 sccm за 10 min. Проведени са общо 11 режима представени в Таблица 1.

Проведени режими

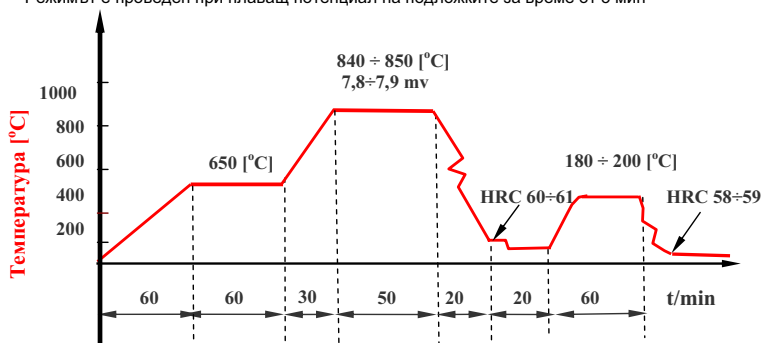
Таблица 1

Режим №	Покритие	$P_{\text{нач}}$ [mbar]	$P_{\text{раб}}$ [mbar]	U [V]	U_n [V]	I [A]	G_N	G_{CH_4}	Време [min]
0	TiN	$9.5 \cdot 10^{-4}$	$5.1 \cdot 10^{-3}$	300	0	7	$3 \div 3.2$	-	120
1	TiN	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$	320	0	7	5.2	-	120
2	TiC	$3.8 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-3}$	$340 \div 360$	0	7		$30 \div 32$	120
3	TiN/TiC	$4.7 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$	$320 \div 340$	~	7	4	30	60/60
4	TiN/TiC/TiN	$3.7 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$	320	*	7	4	30	40/40/40
5	TiN/TiC/TiN/TiC	$9.5 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	340	**	7	4	30	30/30/30/30
6	TiN/TiC/TiN/TiC/TiN	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$	$320 \div 340$	0	7	4	30	24/24/24/24/24
7	TiC/TiN	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.6 \cdot 10^{-3}$	$320 \div 380$	0	7	$4 \div 4.2$	$30 \div 31$	60/60
8	TiC/TiN/TiC	$9.2 \cdot 10^{-4}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$	$300 \div 400$	0	$7 \div 7.2$	4	$30 \div 34$	40/40/40
9	TiC/TiN/TiC/TiN	$3.7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$320 \div 380$	0	7	4	$32 \div 34$	30/30/30/30
10	TiC/TiN	$7.2 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-3}$	380	0	7	4	$33 \div 34$	60/60

Забележка : за всички режими $T = 500^\circ\text{C}$; $G_{Ar} = 8 \text{ del}$.

* Режимът е проведен при плаващ потенциал на подложките

**Режимът е проведен при плаващ потенциал на подложките за време от 5 мин



Фиг.1. Технологичен процес за термична обработка на многослойни Ti/TiN/TiC...и Ti/TiC/TiN... покрития на титанова основа върху подложки от стомана 9XC

На покритите образци е извършен процес на термична обработка в двукамерна вакуумна пещ едновременно с реални изделия от стомана 9ХС. Режимът на вакуумната термична обработка (ВТО) е представен на (фиг. 1) [3].

3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

3.1. Фазов състав

Според рентгеноструктурният анализ в покритията присъстват съответните нитридни и карбидни фази в зависимост от вида на конкретния режим на отлагане (Таблица 2).

Дебелината на покритията преди ТО е 3 ± 10 [μm] и 5 ± 11 [μm] след ТО, която е значително по-малка от дълбочината на рентгеновото пролъчване затова част от информацията в рентенограмите (линиите на желязото) са от подложката. От получените данни в (Таблица 2) е видно, че след ТО освен линията на αFe се появява и линията на γ Fe. Според данни от литературните източници [5] при подобен режим след термообработка на стомана 9ХС в структурата ѝ остават налични около $8 \pm 10\%$ остатъчен аустенит. Същевременно линията на титана от междинния слой, отлаган за подобряване на адхезията е излязла само на някои от рентенограмите. Малката дебелина на този слой 0.8 ± 1.2 [μm] прави фазата „невидима“ за рентгеновото лъчение.

Съществена особеност е отнемването на линиите на нитридите и карбидите. Предвид еднаквите им кристални решетки и възможността им да образуват безкраен ред от твърди разтвори в повечето случаи става дума за карбонитриди.

Фазов състав на стомана 9ХС преди и след ТО

Таблица 2

Режим №	Покритие	Преди ТО		След ТО	
		Подложка	Кондензат	Подложка	Кондензат
0	TiN	-	(Ti,Me)N	-	(Ti,Me)N
1	TiN	αFe	(Ti,Me)N	αFe, γ Fe	Ti, (Ti,Me)N
2	TiC	αFe	(Ti,Me)C	αFe, γ Fe	Ti, (Ti,Me)C
3	TiN/TiC	αFe	Ti, (Ti,Me)N/(Ti,Me)C	αFe	(Ti,Me)N/(Ti,Me)C
4	TiN/TiC/TiN	-	(Ti,Me)N/(Ti,Me)C	-	(Ti,Me)N/(Ti,Me)C
8	TiC/TiN/TiN	αFe	(Ti,Me)C/(Ti,Me) N	αFe, γ Fe	Ti, (Ti,Me)C/(Ti,Me)N
10	TiC/TiN	αFe	Ti, (Ti,Me)C/(Ti,Me)N	αFe, γ Fe	(Ti,Me)N

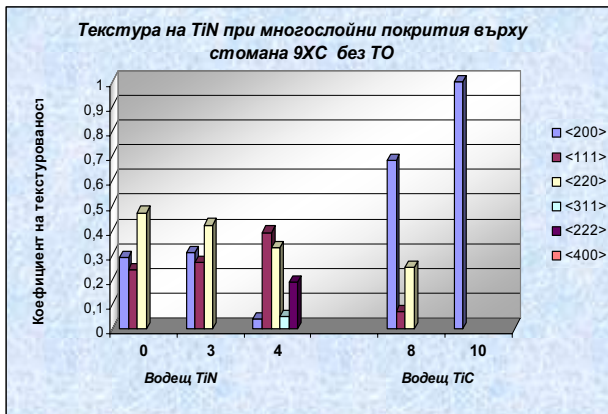
От таблицата личи, че видът на основните фази (карбидни, нитридни или карбонитридни) не се изменя и след термообработването. По-скоро може да се каже, че се изменя съотношението между тях за сметка на карбидната фаза, която намалява, и се образува карбонитридна такава. Причината за това са отново еднаквите кристални решетки на TiN и TiC. Не се наблюдават и съществени изменения в дебелината на покритията настъпили след ТО. Единствената разликата е появата на линията на γ Fe, което присъства само с една линия с не особено висок интензитет. Известна промяна има в линиите, които представят нитрида и карбида, но те са малки и най-вероятно се дължат на регистрираните промени в текстуроваността на покритията.

ТЕКСТУРА

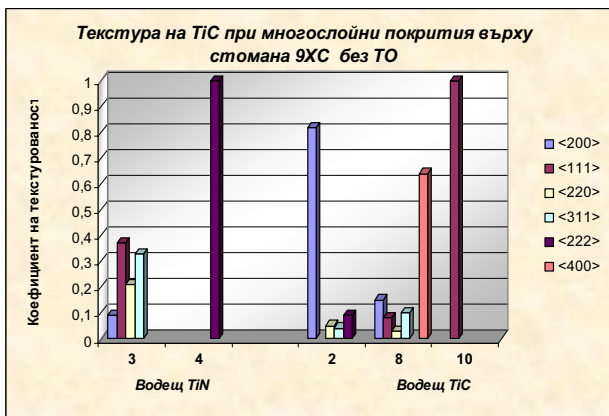
Анализът на рентенограмите показва, че всички покрития са силно текстуровани. Видът на текстурата зависи, както от режима и от разстоянието между мишената и подложката, така и от броя на слоевете и вида на водещия. По-

подробният анализ на коефициента на текстурированост за горното ниво показва следните особености.

При еднослойните покрития текстурата на TiN фаза е силно изразена по $\langle 220 \rangle$. За многослойните без ТО тя се изменя от направлението $\langle 220 \rangle$ и $\langle 200 \rangle$ за двуслойно (режим 3) до $\langle 111 \rangle$ за трислойно (режим 4) (фиг.2-а/). Има разлика в текстурата на покритията с водещ TiC подслой тя е по-силно изразена основно по $\langle 200 \rangle$ за двуслойните и трислойните.



а/

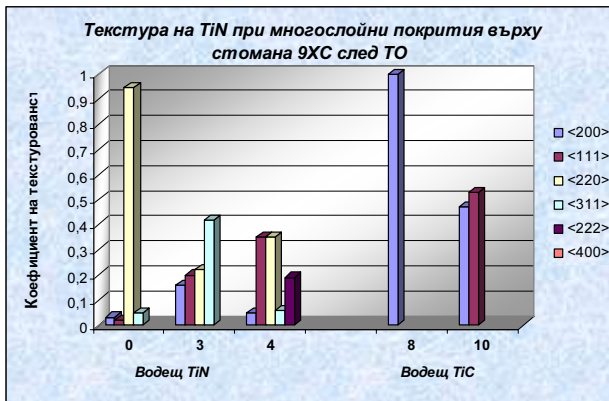


б/

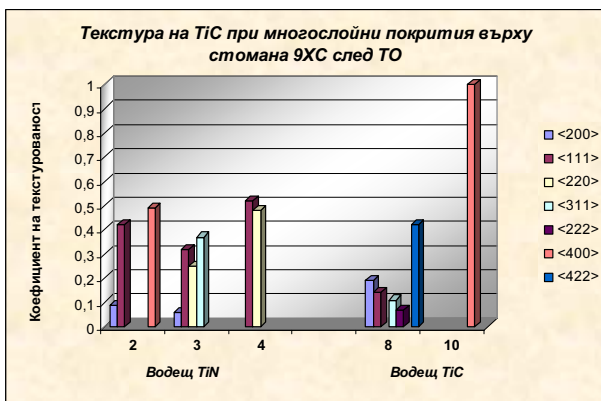
Фиг.2. Коефициент на текстурированост на TiN –а/ и TiC- б/ фази на многослойни покрития с водещ нитриден подслой без ТО

Коефициентът на текстурированост за TiC фаза преди ТО е най-висок по направление $\langle 222 \rangle$, близо единица за трислойното покритие с водещ нитриден подслой (режим 4), следван от двуслойното с водещ карбиден подслой (режим 10) по направление $\langle 111 \rangle$, през $\langle 200 \rangle$ за еднослойното TiC покритие (режим 2). Режим 3 няма ясно изразена текстура по определено направление, а за (режим 8) коефициентът е най- висок по направление $\langle 400 \rangle$ (фиг.2- б/).

Термичната обработка оказва значителни промени в текстуроваността на покритията (фиг.3.-а/). При еднослойните с подстехиометричен състав текстурата на TiN фаза се запазва.



а/



б/

Фиг.3. Коэффициент на текстурованост на TiN –а/ и TiC- б/ фази на многослойни покрития с водещ нитриден подслей след ТО

При двуслойните покритията с водещ TiN подслей коэффициента на текстурованост се променя от <311> през <220> до <111>. Промените при трислойните покрития със същия водещ подслей се изразяват в изравняване на коэффициентите на текстурованост по направления <111> и <220>, последвани от направление <222>. Има видими промени и при покритията с водещ TiC подслей, видът на текстуроваността се променя основно по направление <200> при трислойните (режим 8) със завишаване на стойността до единица и от <111> близо до единица до почти изравнени по <111> и <200> при двуслойните (режим 10). Промените на коэффициента на текстурованост за TiC фаза за същите покрития след ТО се изразяват в преминаване от <200> за еднослойното TiC в <400>. При двуслойното с водещ TiN (режим 3) са почти изравнени. Трислойното с водещ нитриден (режим 4) е с изравнени стойности по направления <111> и <220>. Съвсем

ниски са коефициентите по различните направления за (режим 8) и почти единица по направление <400> за (режим 10) (фиг.3-б/).

ИЗВОДИ:

1. При коректно изпълнение на процеса фазовият състав на получените покрития отговаря на предварително проектирания, като броят на линиите на отделните фази зависи от сумарната дебелина на съответния вид послоеве, а линиите са отместени поради легираност на фазите.
2. Преимущественото образуване на нитридни или карбонитридни слоеве се дължи на азотосъдържащата атмосфера във вакуумната камера. За избягването му е желателно да се повиши началния вакуум. За по-добро почистване на мишената при преминаване от един фазов състав към друг на отлагания подслей е необходимо да се въведе защитен екран между мишената и подложката. Недостатъците при контрола и управлението на натичането на работните газове във вакуумната камера превръщат подслоевите в покритията от чисто карбидни и нитридни в карбонитридни.
3. Фазовият състав на покритията - $\text{Ti},(\text{Ti},\text{Me})\text{N}/(\text{Ti},\text{Me})\text{C}$ - зависи от конкретните условия на отлагане, като при еднакви други параметри разстоянието мишена/подложка влияе само върху количеството и съотношението на фазите.
4. След ТО броят и видът на основните подслоеве не се променя, съотношенията и количествата на елементите в тях се запазват, само общата дебелина на покритието се увеличава за сметка на взаимодействието с подложката. По съществени промени настъпват в междинния Ti-подслей при, който в резултат на насрещната дифузия се повишава количеството на металоид азот, въглерод в него.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Kikuo Tominada, Shozo Jnone, Ronald P. Howsen, Kazuya Kusaka, Takao Hanabusa-Japan, "Thin films prepared by unbalanced planar magnetron sputtering under control fotoemission of Ti", Thin Solid Films 281-282(1996) 182-185.
- [2] Шишков Р. „Вакуумно дефузионно метализиране“ Дисертация, РУ „А.Кънчев“, Русе, 2004 г
- [3] Шишков Р. и др. НФНИ, Проект 2005-МТФ-02, Отчет, РУ „А.Кънчев“, 2006
- [4] Jang S., Lewis D., Wandsworth J., Gawley J., Brooks J., Münz W., „Investigation of substoihomeetric titanium nitride grown by unbalanced magnetron sputtering“, Surface & Coating Tehnology, Sheffield, 2000.
- [5] Геллер Ю. А., „Инструментальные стали“, Москва, Металлургия, 1983.
- [6] Musil, J., „Hard and superhard nanocomposite coatings“, Surface and Coatings Technology, 2000.
- [7] Gauter, C., J. Machet, Thin Solid Films 295 (1997) 43-52.

За контакти:

Ваня Георгиева Захаријева, докторант, катедра „Материалознание и технология на материалите“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Тел.: (082) 888 318, e-mail: vanjazaharieva@yahoo.com

Доц. Д-р Иван Д. Дерменджиев, катедра „Материалознание и технология на материалите“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Тел.: (082) 888 204, e-mail: ivadim@ru.acad.bg

Влияние на параметрите на отлагане върху електрохимичното поведение на стомана 08КП с покрития от неръждаема стомана 12Х18Н9, отложени чрез магнетронно разпрашване

автор: Феим Феимов,
научни ръководители: ас. маг.инж. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева

Stainless steel coatings were deposited onto lowcarbon steel substrate by magnetron sputtering and ion plating in argon ($8 \cdot 10^{-3}$ mbar) atmosphere at bias voltage $0 \div 2500$ V. Electrochemical characteristics of the coating-substrate systems were found in a 1n H_2SO_4 water solution and the coating protective abilities are discussed regarding the deposition parameters and thickness.

Key words: PVD coatings, magnetron sputtering, ion plating, stainless steel coatings, electrochemical behaviour, carbon steel substrate.

ВЪВЕДЕНИЕ

Един от широко използваните методи за защита на въглеродни стомани от електрохимична корозия в агресивни течни среди е плакирането им с тънък лист от неръждаема стомана чрез съвместно валцуване или горещо пресоване, осигуряващи възникването на дифузионна връзка. Произвеждат се биметални композиции: Сг- или Сг-Ni стомани /Ст3 (за концентр. HNO_3), 15Х25Т /нисколегирана стомана или Ст3 (за 30-40 %-тна гореща сярна киселина), аустенитна стомана /перлитна стомана (за корпуси на атомни реактори за защита от корозия и наводородяване). Дебелината на плакиращия корозионноустойчив слой е 5-10 % от общата дебелина на двуслойния лист и обикновено не превишава 0,5-1 mm. Това е безспорно най-надеждният метод за корозионна защита, тъй като осигурява безпиростот на защитния слой, но с оглед икономия на материал, представлява интерес доколко покрития от неръждаема стомана със значително по-малка дебелина биха изпълнявали защитни функции в определена агресивна среда.

Цел на настоящата работа е изследване на корозионнозащитната способност на покрития от стомана 12Х18Н9, нанесени чрез магнетронно разпрашване и йонно платиране върху нисковъглеродна стомана 08КП.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Покритията са нанесени във вакуумна инсталация ВН-90 по методите магнетронно разпрашване и йонно платиране. Разстоянието между магнетрона и подложката е 35mm, напрежението на магнетрона е 380 V, токът на разряда е 3 A. Подложките са предварително почистени с йонно разпрашване в тлеещ разряд, което повишава температурата до необходимата за дадения режим на нанасяне. Времето на почистване е 20min и времето на покриване е 20min. Дебелините на отложените покрития варират в интервала от $7\mu m$ до $13\mu m$ в зависимост от големината на приложеното преднапрежение и плътността на тока съгласно *таблица 1*. Всички режими са проведени при налягане на аргона $8 \cdot 10^{-3}$ mbar. След нанасяне на покритието образците са охладени до $50^\circ C$ преди да се развакумира камерата с цел да се избегне окисление на повърхността. Преди електрохимичния тест са проведени: изследвания за адхезия на покритията към подложката чрез „СКРАЧ“ тест, измерване на дебелината на покритията чрез „BALL“ тест и фазов рентгеноструктурен анализ [1]. В покрития 10 и 11 е установено наличието на две фази - α (ферит или деформационен мартензит) и аустенит, като преобладава α .

Покритията от 1 до 5 са еднофазни и изградени от γ - фаза за разлика от [2-4], където съобщава, че структурата на подобни кондензати е еднофазна α . За изучаване на корозионно-защитната способност на покритията е използван 1n воден разтвор на H_2SO_4 . След престой в електролита до установяване на стационарен потенциал са снети потенциодинамични криви (ПДК) на покритите образци при потенциал на външна поляризация, изменящ се в границите от -0,6 V до +1,2 V със скорост 1 mV/s. Използвана е триелектродна клетка с *наситен каломелов електрод* и *платинов противоелектрод*. Площта от образците, изложена на въздействието на средата, е 0,4 cm². От ПДК са определени потенциалите на корозия на изследваните образци и е направен анализ на *характера на кривите*.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Проследяване изменението на свободния потенциал на системите "покритие-подложка" и на непокрита стомана

На *фигура 1* е показано изменението на *свободния потенциал* E_F от момента на потапяне на работното тяло в работната среда до достигане на постоянна стойност, наречена *стационарен потенциал* E_{ST} . E_{ST} е мярка за термодинамична устойчивост или неустойчивост на метала в конкретната агресивна среда. По – отрицателната стойност обуславя силна склонност към корозия.

От *фигура 1* се вижда ,че най – малък потенциал E_F се измерва за стомана 08КП без покритие. E_F почти не се променя по време на престоя в 1n H_2SO_4 , което показва ,че скоростта на корозия е постоянна. Образците с покритие имат начален силно положителен потенциал, но още в първата минута или след по – малко от 10min рязко понижават потенциала си . Такъв ход на хронограмата е характерен за стомана с катодно покритие с голяма пористост. Неръждаемите стомани в слаби разтвори на киселини са пасивирани и поради това имат положителен потенциал. Когато са под форма на покритие ,поради наличие на дефекти, електролитът прониква до подложката и на повърхността се установява компромисен потенциал. При висока пористост на покритието E_{ST} на стомана с покритие е с близка стойност до E_{ST} на подложката. Всички проби от 08КП с покритие показват много слабо

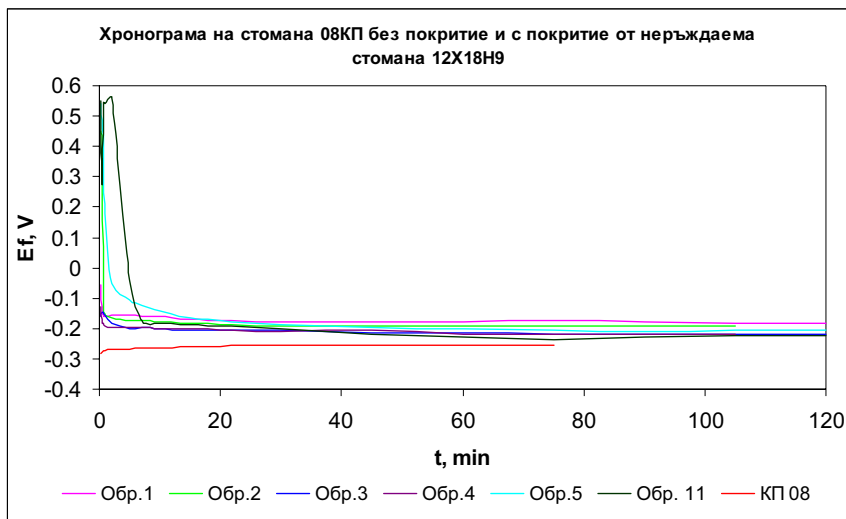
Таблица 1. Електрохимични характеристики на 08КП с покритие от 12Х18Н9

№ Образец	Ток при покритване	Предн. напрежение на подложката	Дебелина	E_{st}	E_{cor}	E_{pit} / E_{trp}	Пределен ток / $i_{кр}$	Ток на пълна пасивация	Характер на кривата
	mA	V	μm	V	V	V	mA cm ⁻²	mAcm ⁻²	
Обр1	30	-500	11.7	-0.181	- 0,18	-----	4,4/	-----	Затруднено анодно разтваряне
Обр2	40	-1000	10.3	-0.193	-0.24	/+1.03	0.6/	0,6	Самопасивирана, Затруднено анодно разтваряне
Обр3	58	-1500	8.6	-0.210	-0.22	/+0,95	5,7/	-----	Затруднено анодно разтваряне
Обр4	65	-2000	7.56	-0.218	-0.23	/+0.98	4,4/	-----	Затруднено анодно разтваряне
Обр5	68	-2500	6.93	-0.208	- 0,23	+ 0,39/	/ $i_{кр} = 36$	7	Пик на акт. разтваряне и пасивация
Обр 11	30	0	12.8	-0.223	-0.24	/+0,76	/ $i_{кр} = 22$	6	Пик на акт. разтваряне и пасивация
08КП	-----	-----	-----	-0.256	- 0,26	/+ 0,82	/ $i_{кр} = 85$	3...12	Пик на акт. разтваряне и пасивация

различаващи се стойности на E_{ST} , както помежду си ($-0,181 \div -0,223$ V), така и спрямо потенциала на непокрита стомана ($-0,256$ V). Друга причина за понижаване на E_F на пробите е разрушаването на пасивния слой Cr_2O_3 от отделящия се при разтварянето на желязото свободен водород, който е силен редуктор. Най – висок E_{ST} се измерва за образци 1 и 2 с дебелина на покритието 11,7 и 10,3 μm , съответно. Тези покрития са отложени при малки преднапрежения на подложката (-500 V и -1000 V, табл.1). С нарастване на преднапрежението до -2500 V дебелината на покритието намалява поради реразпръшване на кондензирания материал и E_{ST} се измества в отрицателна посока. Най – нисък E_{ST} показва образец 11 – покритието е отложено без преднапрежение на подложката, което означава, че температурата на подложката е ниска, покритието е със слаба адхезия към подложката, и има високо ниво на напреженията – доказателство за това е присъствието на α – фаза (деформационен мартензит) в структурата на покритието.

Изучаване поведението на системите "покритие-подложка" и на непокрита стомана при външна поляризация

Фигура 2 обобщава потенциодинамичните криви (ПДК) на анодна поляризация на стомана 08КП без и с покрития, отложени по посочените в таблица 1 режими.



Фигура 1

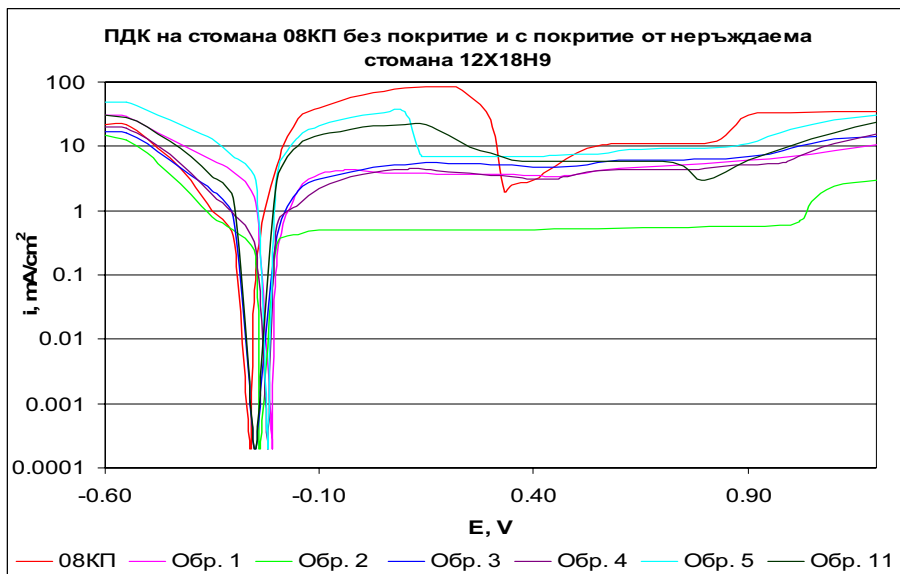
Потенциалът на корозия за стомана е $-0,26$ V, а след нанасяне на покрития се измества слабо в положителна посока (от $-0,24$ до $-0,18$ V в зависимост от режима на отлагане и дебелината) без да достига стойностите за кондензати от същия материал, докладвани в [4] – от $-0,075$ до $+0,06$ V. Това показва наличие на проницаващи пори в получените от нас покрития.

Ходът на кривата за стомана 08КП е типичен за слабопасивиращ се метал. Катодната част на кривата е стръмна, което означава, че катодната реакция на отделяне на H_2 протича с голямо свръхнапрежение. Анодната част показва широка област на активно разтваряне, в която плътността на анодния ток достига максимална стойност 85 mA cm^{-2} и критичен ток на пасивация при $E_{KP}=+0.3$ V.

Преходът в пасивно състояние е плавен. Областта на пасивност се простира от $+0,35 \text{ V} \div +0,82 \text{ V}$ и се характеризира с висока стойност на плътността на тока на пълна пасивация – $i_{\text{пл}} = 3 \div 12 \text{ mA cm}^{-2}$. Най – близка форма на ПДК до тази на 08КП имат образците с покрития 5 и 11. Въпреки, че стойностите на плътността на тока са по ниски, може да се каже, че тези покрития не притежават защитни свойства.

Анодните криви на образци с покрития 1,3 и 4 нямат пик на активно разтваряне. Ходът им съответства на корозия със силен аноден контрол, т.е. затруднено протичане на разтваряне на метала в широка област от стойности на E на поляризация от $-0,1 \text{ V}$ до около $+1 \text{ V}$. Плътността на анодния ток в този участък не зависи или много слабо се променя от потенциала и е в границите $4,4 \div 5,7 \text{ mA cm}^{-2}$, т.е. на повече от порядък по – ниска от $i_{\text{кр}}$ и близки до $i_{\text{пл}}$ за непокрита стомана. Тези покрития имат добри защитни свойства.

Образец 2 категорично се отличава в корозионното си поведение от останалите. ПДК показва затруднен катоден и силно затруднен аноден процеси. Анодната част на кривата е типична за самопасивиращи се метали. Пасивното състояние се запазва от E_{cor} до $+1 \text{ V}$ при стойност на $i_{\text{пл}} = 0,6 \text{ mA cm}^{-2}$, т.е. на два порядъка по – ниска от i_A на активно разтваряне и на един порядък по – ниска от $i_{\text{пл}}$ за стомана 08КП. Следователно, формираното при този режим покритие има най – добри защитни свойства.



Фигура 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чрез магнетронно разпръскване и йонно платиране са отложени покрития от неръждаема стомана 12X18H9 върху качествена конструкционна въглеродна стомана 08КП. Характеризирана е корозионно защитната способност на покритията

зависимост от параметрите на отлагане и получената дебелина в $1\text{нН}_2\text{SO}_4$. Установено е, че:

1.Покритието, получено без прилагане на преднапрежение, независимо от максималната си дебелина $12\text{ }\mu\text{m}$ не притежава защитни свойства.

2.При преднапрежение на подложката -2500 V се получава покритие със минимална дебелина ($7\text{ }\mu\text{m}$),което не притежава защитни свойства.

3. Покритията отложени при преднапрежение -500 V (дебелина $11,7\text{ }\mu\text{m}$), -1500 V (дебелина $8,6\text{ }\mu\text{m}$) и -2000 V (дебелина $7,56\text{ }\mu\text{m}$) имат практически еднакви свойства като десткратно понижават скоростта на корозия в областта на активно разстваряне на подложката.

4. Най – добро защитно покритие е формираното чрез йонно платиране при преднапрежение -1000 V . То обуславя понижение на плътността на тока в областта на активно разстваряне на подложката с повече от два порядъка.

Литература

[1]Владислав Петров, Дипломен проект „Нанасяне на покрития от неръждаема стомана във вакуум”, 2007г.

[2] Shinji fujimoto et al., Materials Sci. & Engineering. A 267, 1999, 314 – 318.

[3] Ji – Hong Yoo et al., Surface and Coatings Tehnology. 157,2002, 47 – 54.

[4] Shozo Inoue et al., Vacuum. 66, 2002, 257- 261.

За контакти:

Феим Феимов, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Специалност „Технология на материалите и материалознание”, e-mail: feim_feimov@abv.bg

Диана Цанева, Русенски Университет “Ангел Кънчев”, Катедра: „Материалознание и технология на материалиите”, тел.: 082-888 307, e-mail: dvc@ru.acad.bg

Влияние на параметрите на нискотемпературното азотиране върху електрохимичните характеристики на неръждаема стомана 316L

автор: Радослав Григоров,
научни ръководители: ас. маг.инж. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева

Low temperature ion nitriding was carried out on stainless steel AISI 316L at $340 \div 420^\circ\text{C}$ and gas mixture ($60\% \text{H}_2 + 40\% \text{N}_2$) pressure 250 Pa with $4 \div 8 \text{ h}$ duration. Electrochemical characteristics in a $3\% \text{ NaCl}$ water solution of the nitrided and unnitrided steel were discussed.

Keywords: *ion nitriding, low temperature, stainless steel, electrochemical behaviour*

ВЪВЕДЕНИЕ

Основен недостатък на аустенитните неръждаеми стомани е ниската им износоустойчивост. Тя се преодолява главно чрез азотиране на повърхностния слой. За съжаление, конвенционалното азотиране, повишавайки повърхностната твърдост силно влошава корозионната устойчивост, тъй като в дифузионния слой от азотист аустенит се отделя вторичен CrN. Такава структура създава предпоставки за междукристална корозия. В предишни изследвания [2-6] е показано, че при нискотемпературното (под 450°C) азотиране се формира дифузионен слой, изграден от нова фаза „напрегнат аустенит“, която някои автори означават като S – фаза, а други – като *m* – фаза. Има противоречиви данни относно максималната температура на азотиране, до която дифузията на Cr в соя е подтисната и не е възможно отделяне на CrN, отговорен за понижението на корозионната устойчивост.

Цел на настоящата работа е сравняване на електрохимичните характеристики на неазотирана и нискотемпературно азотирана стомана 316 L и определяне на оптималния режим на азотиране осигуряващ повишаване на КУ в $3\% \text{ NaCl}$.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Образци от аустенитна неръждаема стомана AISI 316 L (табл.1) бяха азотирани в тлеещ разряд в лабораторията ЕФТОМ при ТУ – гр. София. Азотирането е проведено в инсталация ЙОН-20 в азотоводородна смес ($40\% \text{N}_2$ и $60\% \text{H}_2$) при налягане $2,5 \text{ mbar}$, температури $340 \div 420^\circ\text{C}$ и продължителност на обработване $4 \div 8 \text{ h}$. Параметрите на конкретните режими от планирания експеримент са показани в табл. 2.

Химичен състав на стомана 316 L

Таблица №1

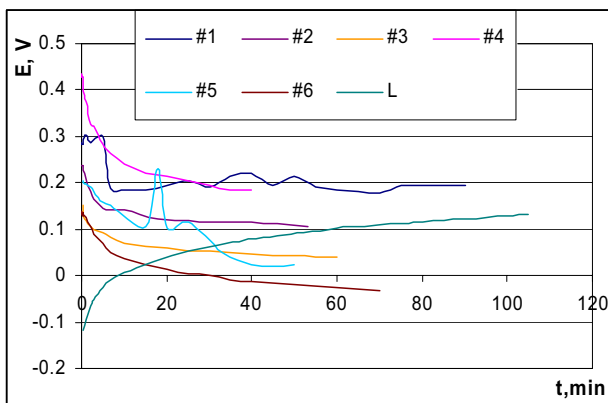
C %	N %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %	Fe %
0.06	0.03	1.79	0.51	0.02	0.02	11.72	17.68	2.76	65.41

Корозионното поведение на неазотирана и азотирана аустенитна стомана AISI 316L е изследвано в 3% -ен воден аериран разтвор на NaCl чрез електрохимични методи: проследяване изменението на свободния потенциал (E_f) от потапянето в агресивната среда до установяване на стационарно състояние (стационарен потенциал, E_{st}) и снемане на потенциодинамични криви на външна анодна поляризация при скорост на разгъване на потенциала е 1 mVs^{-1} . Пробните тела се почистват с ацетон и се монтират в специален тефлонов държач с отвор,

осигуряващ постоянна площ на контакт на изследваната повърхност с електролита, равна на $0,4 \text{ cm}^2$ и постоянно разстояние между нея и сравнителния електрод – наситен каломелов електрод. Триелектродната клетка за потенциодинамичните измервания включва: работен електрод – изследваната проба, сравнителен наситен каломелов електрод и платинен противоелектрод. Анодните криви се снимат с помощта на потенциостат “RADELKIS OH-405” и X-Y – записващо устройство в координати “ток – потенциал” и се обработват с компютърна програма EXCEL в координати “логаритъм от плътността на тока – потенциал”. Снемането на кривите се осъществява след измерване на стационарния потенциал без изваждане на пробата от разтвора в интервала от стойности на потенциала на външна поляризация от $-0,3 \text{ V}$ до $+0,9 \text{ V}$ по отношение на стандартен водороден електрод. Всички стойности на потенциала в настоящата работа са дадени в стандартна водородна скала. Потенциалът на питингообразуване (E_{pit}) се определя от реалните анодни криви ($I - E$, фиг.2) като стойност на E , над която рязко нараства анодният ток при задълбочаване на поляризацията.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

На фиг.1 е представено изменението на свободния потенциал след потапянето на изследваните пробни тела в 3 % - ен разтвор на NaCl. Неазотираната стомана (крива L) променя потенциала си в положителна посока в границите от $-0,12 \text{ V}$, при потапяне, до $+0,32 \text{ V}$ след 105 min престой, докато E_f на всички азотирани проби показва тенденция към намаляване под влияние на депасивиращите Cl – йони. При все това, достигнатият стационарен потенциал на азотираната при 420°C стомана (проби 1 и 4) има по-високи стойности от E_f на неазотираната стомана, което доказва по-голяма термодинамична устойчивост на модифицираната повърхност в агресивната среда. Колебанията в стойностите на E_f , наблюдавани на криви 1 и 5, се свързват с конкуренцията между процесите на депасивация и репасивирание, както е констатирано и в [2 и 3]. Най-ниски стойности на E_f демонстрира проба 6, азотирана при 380°C .

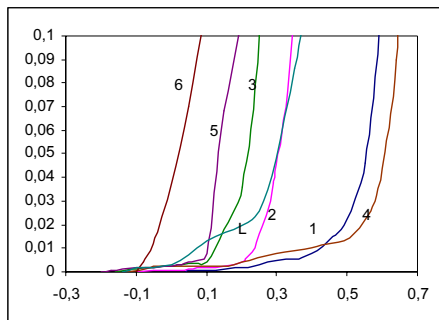


Фиг. 1. Криви “свободен потенциал – време”
в 3 % NaCl на неазотирана (L) и азотирана по
режими 1 – 6 стомана AISI 316L
Таблица №2. Електрохимични характеристики на
неазотирана и азотирана стомана 316L в 3 % NaCl

№	режим	E_{st}, V	E_{corr}, V	E_{pit}, V
1	420/4	+0,195	-0,02	+0,450
2	340/4	+0,107	-0,09	+0,200
3	340/8	+0,041	-0,16	+0,100
4	420/8	+0,185	-0,08	+0,530
5	380/6	+0,023	-0,20	+0,100
6	380/6	-0,031	-0,10	-
L	-	+0,132	-0,14	+0,220

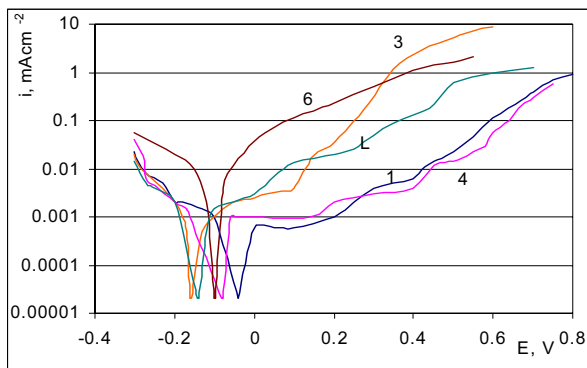
Причината за отместването на свободния потенциал в отрицателна посока трябва да се търси в структурните особености на повърхностния слой. Както беше показано в предишна наша работа [6], изследваната стомана съдържа малко количество феритна фаза в структурата си. Поради по-малката разтворимост на азота във ферита, пресицането му е много по-голямо в сравнение с аустенита и в α_N – зърната се образуват дисперсни отделения от CrN. Структурната хетерогенност на повърхността на азотираната стомана създава и електрохимична хетерогенност. Следователно, на повърхността, контактуваща с електролита се обособяват микрогалванични корозионни елементи, в които ролята на катод се изпълнява от зърната на S – фазата, а на анод - от азотистия ферит с нитридни отделения. Работата на този елемент се активизира от присъствието на Cl^- - йоните.

На фиг 2. е показана началната част от анодните потенциодинамични криви на изследваните пробни тела в линейни координати “плътност на анодния ток – потенциал на външна поляризация”. Очертани са два участъка с различен наклон (участък на затруднено разтваряне и участък на питингова корозия), чрез екстраполирането на които е определен потенциалът на питингообразуване (табл.2). Получените стойности за E_{pit} са по-високи от тази на неазотирана стомана само за азотиран при 420°C слой (криви 1 и 4 на фиг.2). Потенциодинамичните криви за целия интервал на анодна поляризация (-0,3...+0,9 V) са обобщени на фиг. 3.



Фиг. 2. Потенциодинамични анодни криви на неазотирана (L) и азотирана AISI 316L в координати “плътност на анодния ток – E”

С изключение на крива 6, всички показват типичен ход за самопасивирани метали, които при по-голяма дълбочина на поляризация са подложени на питинг. Под E_{pit} плътността на анодния ток, i_a , не надвишава $0,01 \text{ mA cm}^{-2}$, а над тази стойност на E



Фиг. 3. Потенциодинамични криви на анодна поляризация на неазотирана (L) и азотирана при 420°C (крива 1 – 4 h; крива 4 – 8 h), 380°C (крива 6 – 6 h) и 340°C (крива 3 – 8 h) стомана 316L в 3 % NaCl.

нарастването на тока се определя от броя питинги и дифузионните ограничения от натрупаните продукти на корозия на подложката. Азотираната при 380°C стомана (проба 6) търпи обща корозия в избраната среда като стойността на i_a е на един порядък по-висока в сравнение с азотираните при 340°C проби (криви 2 и 3) и неазотираната стомана и на два порядъка по-висока спрямо азотираните при 420°C проби (криви 1 и 4). Казаното се потвърждава от визуалното изследване на атакуваната от електролита повърхност – на неазотираната стомана и на проби 2 и 3 се наблюдават множество питинги и следи от процепна корозия на границата с уплътнението, повърхността на проба 6 е изцяло разядена и покрита с корозионни продукти, а върху проби 1 и 4 се забелязват изолирани питинги.

От друга страна, пресищането на S-фазата с азот създава напрежения в модифицирания слой, които могат да доведат до напукването му. Електролитът прониква през пукнатините и атакува аустенита на основата, както е констатирано в [5], а това ускорява локалната корозия на стоманата. Силно неблагоприятно влияние има и отделянето на CrN, което е причина за междукристална корозия в азотирания слой.

Получените в настоящата работа резултати от сравнителното електрохимично изследване на неазотирана и йонно азотирана при температури 340, 380 и 420°C неръждаема стомана 316L показват преди всичко значително влияние на температурата на насищане. Определено може да се твърди, че понижаването на температурата на азотиране под 420°C влияе неблагоприятно върху корозионното поведение на 316L. Това е наблюдавано и от L. Gontijo и съавтори [3] за стомана 304L, азотирана в тлеещ разряд при 350 и 400°C с продължителност 3 h (дебелината на слоя е съответно 2,6 и 6,5 μm) при изследването ѝ в сяроукисел разтвор и от A. Fossati и съавтори [4] за 316L, азотирана при 380°C за време 5 h и тествана в 5 % NaCl. Противоположни резултати са докладвани в [2] за стомани 304, 316 и 321, азотирани и азотонавъглеродени за време 15 и 40 h – наситените при 380 и 415°C стомани показват почти на порядък по-добри характеристики (по-малък i_a) в сравнение с обработените при 430°C. Посоченото противоречие е лесно обяснимо с различната дебелина на модифицирания слой.

Очевидно е, че при проведеното кратковременно (6 h) азотиране при 380°C се създава тънък слой от S – фаза, който, при известна неравномерност, може да е локално прекъснат, както това е доказано в [5]. Прекъснатият азотиран слой заедно с двуфазната структура на стоманата [5] са предпоставка за възникване на

микрогалванични корозионни елементи, които силно понижават термодинамичната устойчивост на изследваната проба в условия на електрохимична корозия. На тези галванични елементи се дължи ускорената равномерна корозия в избраната среда. Повишаването на температурата до 420°C води до формиране на слой с дебелина до около 15 μm при продължителност на насищане 4 и 8 h, който, въпреки двуфазната структура от S-фаза и азотист ферит, подобрява съществено електрохимичните характеристики на стоманата като измества потенциала на корозия и потенциала на питингообразуване в положителна посока и понижава плътността на анодния ток, а следователно, и скоростта на корозия най-малко на порядък. Азотираните при 340°C проби показват близко корозионно поведение до това на неазотираната стомана, което дава основание да се заключи, че насищането с азот при тази температура е незначително.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Кратковременното азотиране (под 4 часа) при температури $\leq 380^\circ\text{C}$ влияе неблагоприятно върху корозионното поведение на 316L, тъй като се създава тънък слой от S – фаза, който може да е локално прекъснат, а това е предпоставка за възникване на микрогалванични корозионни елементи, ускоряващи корозията.

2. Повишаването на температурата до 420°C при продължителност на насищане 4 и 8 h води до формиране на слой с по-големи дебелини и концентрации на азот, което подобрява съществено електрохимичните характеристики на стоманата като измества потенциала на корозия и потенциала на питингообразуване в положителна посока и понижава скоростта на корозия най-малко на порядък.

3. Азотираните при 340°C проби показват близко корозионно поведение до това на неазотираната стомана поради незначително насищане с азот.

Литература

- [1]Тошков, В., Азотиране в нискотемпературна плазма,КИНГ, София 2004, 244 стр.
- [2]Dearnley P. A., A. Namvar, G.G.A. Hibberd and T. Bell, Some Observations on Plasma Nitriding Austenitic Stainless Steel, Proceed. of the First International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch – Partenkirchen,(FRG), 1988, 219-226.
- [3]Sun, Y., Materials Letters 59 (2005) p. 3410 – 3413.
- [4]Gontijo, L., R. Machado et al., Thin Solid Films 515 (2006) p. 1093 – 1096.
- [5]Fossati, F., Borgioli, F., E. Galvanetto, T. Bacci, Corrosion Science 48 (2006) p.1513 – 1527.
- [6]Тошков, В., Р. Русев, П. Петров, Е. Русева, Д. Цанева, По някои дискусиионни въпроси върху морфологията на „S“-фазата в нитридният слой, получен при ниски температури (400°C) след йонно азотиране и газово карбонитриране, Известия на „Съюза на учените“ Варна, 2'2003, 1'2004, 3-7.

За контакти:

Радослав Григоров, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Специалност „Технология на материалите и материалознание”, e-mail: radara@abv.bg

Диана Цанева, Русенски Университет “Ангел Кънчев”, Катедра: „Материалознание и технология на материалите”, тел.: 082-888 307, e-mail: dvc@ru.acad.bg

Електрохимично поведение на стомана 9ХС с отложени многослойни Cr- C/Cr- N покрития

автор: Илиян Иванов,
научни ръководители: ас. маг.инж. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева

Cr-C/Cr-N multilayered coatings were deposited onto 9CrSi steel by unbalanced magnetron sputtering in alternating nitrogen and methane atmosphere into the working chamber. Electrochemical characteristics of the coatings were found in a 3% NaCl water solution and the protective abilities are discussed.

Keywords Cr-C/Cr-N multilayered coatings, reactive magnetron sputtering, electrochemical corrosion

ВЪВЕДЕНИЕ

С развитието на съвременните технологии към използваните материали се предявяват нови изисквания, които е целесъобразно да бъдат постигнати посредством обработване на повърхостите на работните части на изделията. Това осигурява необходимите за работните повърхности свойства при относително ниска цена, тъй като се избягва необходимостта от икономически неефективно легиране. Отлагането на хром-карбидни и хром-нитридни 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 [1]. В процеса на обработване на полимерни изделия е възможно отделяне на агресивни за инструмента агенти, които намаляват живота му (Cl⁻, S, F). Покритията на хромова основа притежават висока корозионна устойчивост спрямо такива среди, която, съчетана с добрите им механични характеристики, ги прави предпочитани за употреба в области, в които към инструментите се изисква повишена корозионна устойчивост [2]. Допълнително подобрене на корозионно-защитните свойства на тези покрития е възможно да се постигне посредством изграждане на многослойна структура. Многослойните системи „покритие – подложка“ се характеризират с подобро корозионно поведение, което се дължи на „маскиране“ на дефектите в покритието [3].

Цел на настоящата работа е изучаване на електрохимичното поведение на стомана 9ХС с отложени едно-, дву-, три- и четиристойни покрития от типа Cr-C/Cr-N...

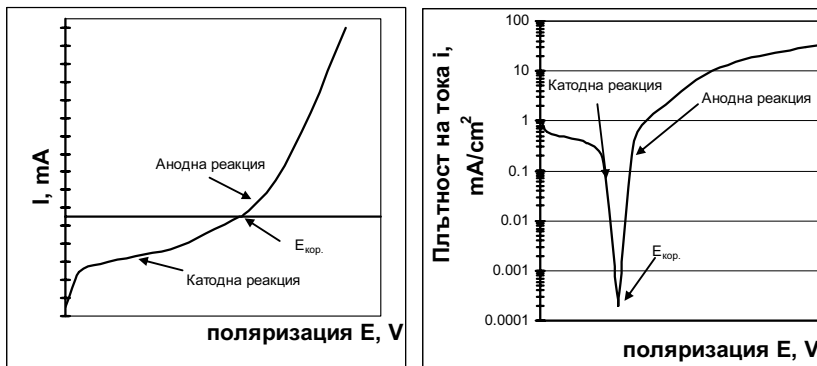
МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Покритията са отложени върху подложки от стомана 9ХС в отгрято състояние. Отлагането на покритията е извършено във вакуумна експериментална пещ ВЕП–1, снабдена с индиректно охлаждан небалансиран магнетрон при температура 450°С. Използвана е синтерована мишена от електролитен хром с чистота 99,998%. По време на отлагане на покритията подложките са разположени на разстояние от мишената 70 mm. Продължителността на процеса на получаване на покритията е 120 min, като с цел получаване на многослойна структура в работното пространство през равни интервали от време са сменяни работните газове метан и азот. Дебитът на метана е поддържан 16,35 sccm; на азота - 12,24 sccm; и на аргона - 17,16 sccm. Отложени са четири вида покрития: еднослойно Cr-N; двуслойно Cr-C/Cr-N; трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N; четиристойно Cr-C/Cr-N/Cr-C/Cr-N.

Като агресивна среда при изучаване на корозионно-защитната способност на покритията е използван 3%^{ен} воден разтвор на NaCl. Площта от образците, изложена на въздействието на средата, е 0,4 cm². След престой в електролита до

установяване на стационарен потенциал 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. Използвана е триелектродна клетка с наситен каломелов електрод и платинов противоелектрод. Външният потенциал е задаван с потенциостат RADELKIS-OH-405. Оригиначните потенциодинамични криви се изчертават от X-Y RECORDER в координати „ток I – потенциал на външна поляризация E” – фигура 1а. Впоследствие от оригиналните потенциодинамични криви се отчитат стойностите на I, съответстващи на различни дълбочини на външна поляризация E, и с помощта на програмния продукт EXCEL се изчертават в координати „плътност на тока i – потенциал на външна поляризация E”, като стойностите на i по ординатата са нанесени в логаритмичен мащаб, тъй като разликата между минималните и максималните им значения е от няколко порядъка.

От ПДК са определени потенциалите на корозия на изследваните образци и е направен анализ на характера на кривите.



Фигура 1

а) ПДК в координати I-E

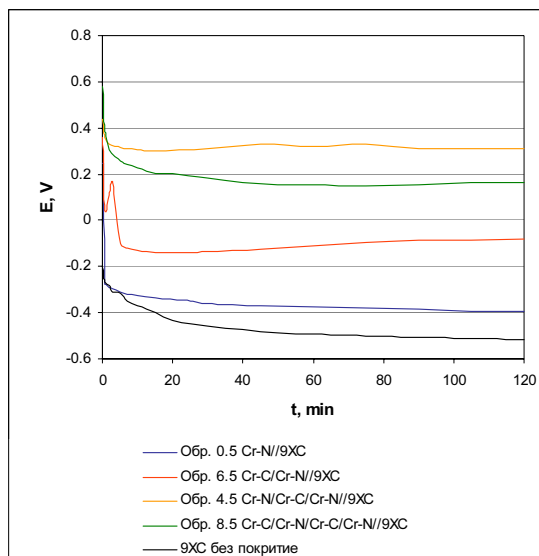
б) ПДК в координати i-E

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Проследяване изменението на свободния потенциал на системите "покрытие-подложка" и на непокрита стомана

На фигура 2 е показано изменението на свободния потенциал на стомана 9ХС без покритие и на образци с покрития с най-външен Cr-N слой. От фигурата се вижда, че всички покрити образци имат по-електроположителни стойности на свободния и на стационарния потенциали от съответните за непокрита подложка. Конкретните стойности на стационарните потенциали са показани в таблица 1.

Най-положителни свободен и стационарен потенциали показва пробата с отложено трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие - разликата между стационарния потенциал на този образец и на непокрита стомана е 0.826 mV, което говори за наличие на покритие с минимално количество дефекти от рода на различни неплътности в покритието, позволяващи достъп на електролита до подложката и следващото анодно разтваряне. По този начин е изпълнено едно от основните изисквания към катодните покрития, а именно - непрекъснатост и ненарушена цялост на покритието. Същевременно проследяването на изменението на свободния потенциал на системата "покрытие-подложка" с трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие показва стабилност на измерените стойности, като от това може да се съди, че формираният на въздух защитен повърхностен слой е устойчив в използваната агресивна среда, което също способства за по-доброто електрохимично поведение на изследвания образец.



Фигура 2 Хронограми на стомана 9XC без покритие и с покрития

Таблица 1

Образец	Ест, mV	Екор, mV
0.5 Cr-N/9XC	-0.395	-0.400
6.5 Cr-C/Cr-N/9XC	-0.083	-0.260
4.5 Cr-N/Cr-C/Cr-N/9XC	0.310	0.071
8.5 Cr-C/Cr-N/Cr-C/Cr-N/9XC	0.165	0.011
9XC	-0.516	-0.550

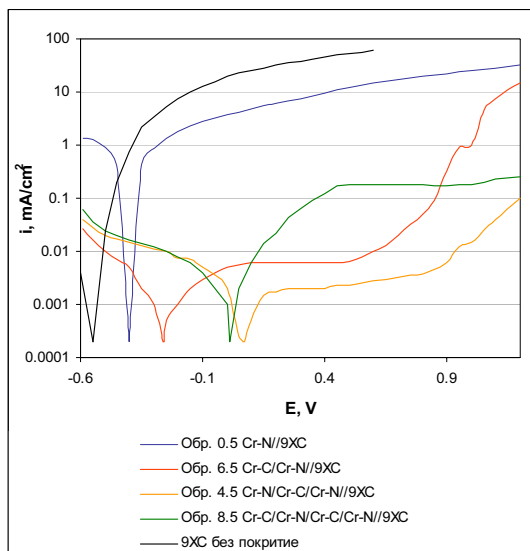
Подобен характер показва и хронограмата на системата "покритие-подложка" с четиристайно Cr-C/Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие, за която стационарният потенциал е с 0.681 mV по-положителен от съответния на непокрита стомана 9XC. Намалването на тази разлика спрямо същата за системата "покритие-подложка" с трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие може да се дължи на увеличаването на остатъчните напрежения в четиристайното покритие и свързаното с това нарушение на целостта на покритието. Това е предизвикано от нарастването на обема от покритието, принадлежащо към граничните повърхности между отделните подслоеве, където поради разликата в кристалните структури, винаги се наблюдават деформации на кристалните решетки и свързаните с тях напрежения. Значителното изместване в положителна посока на свободните и стационарните потенциали на системите "покритие-подложка" с отложени трислойно и четиристайно покрития се дължи на увеличаване плътността на покритията, предизвикано от тяхната многослойна структура, благодарение на която голяма част от характерните за PVD покритията дефекти (пори, пронизващи покритието, микропукнатини и локални отлющвания) се маскират или неутрализират [3]. Очевидно, този ефект се наблюдава в по-малка степен при образца с двуслойно Cr-C/Cr-N покритие, за който измерената стойност на стационарния потенциал е само с 0.433 mV по-електроположителна от същата за подложката. При пробата с еднослойно Cr-N покритие увеличението на стационарния потенциал спрямо този на непокрита 9XC е минимално - 0.121 mV,

като това говори за голяма порестост на покритието, свързана с недобри защитни свойства.

Изучаване поведението на системите "покритие-подложка" и на непокрита стомана при външна поляризация

Потенциодинамичните криви на изследваните образци са показани на фигура 3, а в таблица 1 са обобщени стойностите на потенциалите им на корозия.

Резултатите от този тест потвърждават доброто електрохимично поведение на образците с двуслойно, трислойно и четирислойно покрития. От потенциодинамичната крива на системата "покритие-подложка" с трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие се отчита потенциал на корозия 0.071mV, т.е изместен с 0.621mV спрямо потенциала на корозия на подложката, което означава, че отлагането на това покритие повишава термодинамичната устойчивост на системата "покритие-подложка". Измерените плътности на тока за образеца с трислойно покритие са минимални (по-ниски с пет порядъка от съответните за непокрита 9ХС), а върху ПДК се очертава широк участък на пасивно състояние. Тези наблюдения потвърждават горните разсъждения за защитните свойства на трислойното Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие. Значително намаление на скоростта на корозия в използваната агресивна среда осигурява и отлагането на двуслойно и четирислойно покрития - за образците с такива покрития плътностите на тока са съответно с четири и три порядъка по-ниски от плътността на тока, измерена за непокрита стомана. ПДК образеца с еднослойно Cr-N покритие има характер, подобен на ПДК на подложката, а отчетените плътности на тока се доближават до тези за непокритата проба. Потенциалът на корозия на стомана 9ХС с еднослойно покритие е най-близък до този на непокрита подложка. От всичко това следва, че отлагането на еднослойно Cr-N покритие не осигурява достатъчна защита на стомана 9ХС в 3% воден разтвор на NaCl.



Фигура 3 ПДК на стомана 9ХС без покритие и с покрития

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Еднослойната структура на отложеното Cr-N покритие върху стомана 9ХС не осигурява защита на подложката при въздействие на 3% воден разтвор на NaCl върху системата "покритие-подложка".

2. Оптимална защита на подложката в използваната агресивна среда се наблюдава при отлагане на трислойно Cr-N/Cr-C/Cr-N покритие, което се обяснява с намаление на неплътностите в покритието, резултат от многослойната му структура.

3. Увеличаването на броя на подслоеве в покритието до четири има за резултат увеличаване на остатъчните напрежения в покритието, които, съчетани с напреженията, възникнали по време на електрохимичните тестове, водят до поява на микропукнатини, позволяващи достъп на електролита до подложката.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Panjan P., P. Cvahte, et al., PVD CrN coating for protection of extrusion dies, Vacuum 61 (2001) 241}244.

[2] Cunha L., M. Andritschky, L. Rebouta, Silva, Corrosion of TiN, TiAl/N and CrN hard coatings produced by magnetron sputtering, Thin Solid Films 317 (1998) 351–355.

[3] Dobrzanski L.A., K. Lukaszewicz et al., Corrosion resistance of multilayer coatings deposited by PVD techniques onto the brass substrate, J. of Materials Processing Technology (2005)

За контакти: Мариана Илиева, e-mail: mdilieva@ru.acad.bg , Русенски Университет "Ангел Кънчев", Катедра Материалознание и технология на материалите, ул. Студентска 8 7017, Русе, България

Сравнително изследване на корозионно защитните свойства на многослойни покрития на основа TiN/TiC върху стомана 9XC

автор: Анелия Андреева,
научни ръководители: ас. маг.инж. Мариана Илиева
доц. д-р Диана Цанева

The electrochemical behavior of steel 9CrSi with magnetron sputtered multilayered Ti/TiN, Ti/TiC and Ti/TiN/TiC coatings has been examined in a 3% NaCl water solution. The free potential dependencies on time have been studied and anodic potentiodynamic polarization curves have been analyzed in the range of polarization potentials from -0,6V to +1,2 V. The correlation between coatings structure, coatings thickness and electrochemical characteristics of the coated samples were found.

Key – words: corrosion protection, coatings, titan nitride, titan carbide, multilayered coating.

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните 20 години се отделя специално внимание на покрития изградени от нитриди, карбиди и карбонитриди на преходните метали, заради тяхната многофункционалност, износоустойчивост, антифрикционни свойства, ниска топлопроводимост, висока корозионна устойчивост, декоративен вид, специални електрични свойства. Най-голямо приложение понастоящем имат покритията от TiN. Съществен проблем при отлагането на TiN е осигуряването на добра адхезия към подложката, тъйкато адхезията е ключов критерий за корозионни защитните свойства на покритието. Наред с усъвършенстването на технологиите за получаването му се търсят и др. състави с подходящи свойства като Ti/C, Ti(C, N) или многослойни структури. Присъствието на въглерод в покритието осигурява по добра адхезия, но намалява корозионната устойчивост и антифрикционните свойства. Легирането на TiN с B [1], Al [2] също подобрява качеството на покритието. Установено е, че нанасянето на тънък слой от Ti преди отлагането на Ti/C или Ti/N [3, 4] има силно благоприятно влияние върху корозионно - защитните свойства.

С цел сравняване на защитните свойства на многослойни покрития с Ti подслои и различен водещ керамичен подслой: TiC или TiN, нанесени върху стомана 9XC в универсалната агресивна среда - 3% разтвор на NaCl.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Покритията са получени в лабораторна вакуумна пещ ВЕП – 1 на НЦВТС РУ „Ангел Кънчев“ по метода реактивно магнетронно разпръскване на мишена от техническа титанова сплав ВТЗ-Н. Параметрите на процеса на отлагане на покритията са обобщени в таблица 1. Проведени са 10 режима, като продължителността на всеки е 120 минути при $T_{отл} = 500^{\circ}\text{C}$ и плаващ потенциал на подложките. Пробните тела от 9XC са с форма на диск с $\Phi = 20\text{ mm}$ и дебелина 5 mm. Дебелината на покритията варира от 5 до 11 μm (Табл. 2) и е определена чрез микроструктурен анализ на напречен шлиф.

За електрохимичните тестове пробните тела се монтират в специален тefлонов държач, контактната повърхност на образците с електроплита е 0,4 cm^2 . Проследено е изменението на свободния потенциал на стомана без покритие и с покрития от момента на потапяне до достигане на стационарна стойност ($E_{стац}$). Свободният потенциал се измерва спрямо стандартен наситен каломелов електрод, чийто потенциал спрямо водородния електрод е +0,245 V. След достигане на стационарен потенциал са снети потенциодинамични криви със скорост на разгъване на потенциала на външна поляризация 60mV/min^{-1} в интервала от - 0,6 V

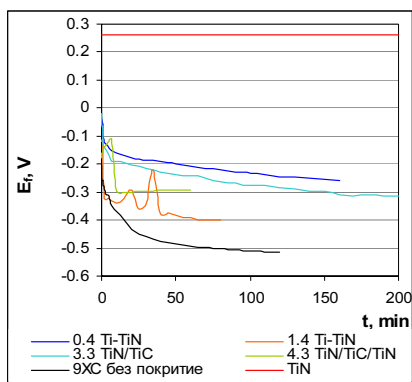
до 1,2 V спрямо нормален водороден електрод. За целта се използва триелектродна клетка, състояща се от изследваната проба в ролята на анод, сравнителен каломелов електрод и платинов противоелектрод, свързана към потенциостат RADELKIS OH – 405. Кривите се чертаят от XY записващо устройство в координатите „I – E“, след което се обработват с програмата EXCEL в координати „i – E“. От тях се определят потенциалът на корозия $E_{кор}$, потенциалът на питингообразуване $E_{пит}$ и стойността на пределната плътност на анодния ток i_a пр.

Таблица 1 Режими на отлагане на покритията

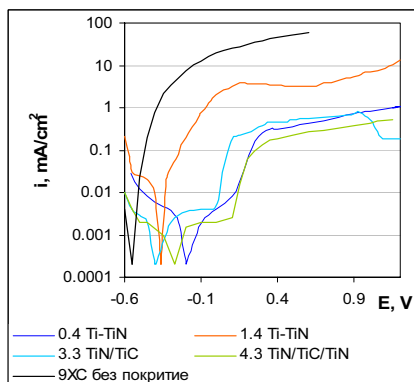
Режим №	Покритие	$P_{нач}$ [mbar]	$P_{раб}$ [mbar]	U [V]	U_n [V]	I [A]	G_N [sccm]	G_{CH_4} [sccm]	Време [min]
0	TiN подстех.	9.5×10^{-4}	5.1×10^{-3}	300	0	7	3+3.2	-	120
1	TiN надстех.	6.2×10^{-4}	4.7×10^{-3}	320	0	7	5.2	-	120
2	TiC	3.8×10^{-4}	5.9×10^{-3}	340+360	0	7		30+32	120
3	TiN/TiC	4.7×10^{-4}	4.4×10^{-3}	320+340	~	7	4	30	60/60
4	TiN/TiC/TiN	3.7×10^{-4}	4.0×10^{-3}	320	*	7	4	30	40/40/40
8	TiC/TiN/TiC	9.2×10^{-4}	4.7×10^{-3}	300+400	0	$7+7.2$	4	30+34	40/40/40
10	TiC/TiN	7.2×10^{-4}	5.3×10^{-3}	380	0	7	4	33+34	60/60

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

На фиг.1 са обобщени зависимостите на свободния потенциал от времето на престой в агресивната среда на стомана без покритие и на образците с покрития с водещ нитриден слой, а на фиг.2 са показани анодните потенциодинамични криви на същите пробни тела, снети след достигане на $E_{стац}$.



Фиг.1. Криви “свободен потенциал – време” в 3 % NaCl на стомана 9XC без покритие и с покрития с водещ нитриден подслой



Фиг.2. Потенциодинамични криви в 3 % NaCl на стомана 9XC без покритие и с покрития с водещ нитриден подслой

Общата тенденция в изменението на свободния потенциал е отместване в отрицателна посока, което е типично за среди съдържащи, Cl^- йони поради, силното им депасивиращо действие. Най-ниски стойности на E_i показва стоманата без – покритие, за която $E_{стац} = -0,516$ V. По литературни данни [2] стационарният

потенциал на TiN в такава среда е + 0,269 V. Стационарните потенциали на стомана с покрития заемат стойности между тези на 9XC и TiN, което е характерно за системите „катодно покритие – подложка“. Причина за отрицателните стойности на стационарния потенциал се дължи на наличието на пори в катодното покритие, през които електролитът достига до подложката, както показват фиг.2 и табл.2. Най-близка стойност до стационарния потенциал има пробата 1.4 на стомана 9XC с покритие от надстехиометричен TiN. Това покритие е с най-малка дебелина, която предполага най-голяма пористост. Покритията TiN/TiC/TiN (4.3); TiN/TiC (3.3); TiN подстехиометричен (0.4) са с близка дебелина 8÷10 μm , поради което стойностите на стационарните им потенциали не се различават съществено. При близка дебелина и увеличаване броя на подслоеве стационарният потенциал се измества в отрицателна посока - това означава, че се понижава термодинамичната устойчивост на системата „покритие – подложка“, което се дължи на повишаване на напреженията в покритието.

Таблица 2 Електрохимични характеристики на 9XC
с покрития

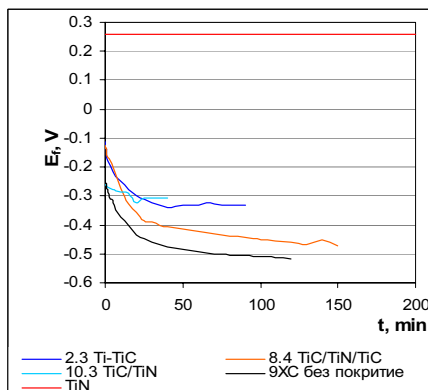
№	покритие	Дебелина, μm	$E_{\text{стац}}, \text{V}$	$E_{\text{кор}}, \text{V}$	$i_{\text{пред}}$ mAcm^{-2}
9XC	-	-	-0.516	-0.550	80
0.4	TiN- подстех.	9	-0.260	-0.200	0,2 - 0,8
1.4	TiN- надстех.	5 - 6	-0.401	-0,399	3 - 5
3.3	TiN/TiC	8 (5)	-0.314	-0,269	0,2 - 0,7
4.3	TiN/TiC/TiN	8	-0.295	0,270	0,2 - 0,5
2.3*	Ti/TiC	9, (6) _{2,4}	-0.333	-0.250	0,2 - 1
10.3	TiC/TiN	5,2 (5,5)	-0.306	-0.200	0,2 - 1
8.4*	TiC/TiN/TiC	5,4 (7)	-0.473	-0.390	20 - 30

Забележка * - има отслояване на покритието преди изпитването

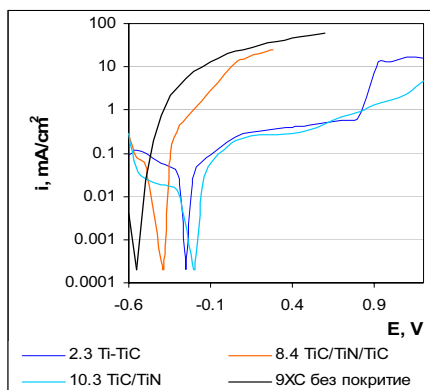
Разликата в дебелината на отложените покрития (Табл.2) затруднява тълкуването на резултатите за влияние на структурата на покритията върху защитните им характеристики. Поведението при външна поляризация (фиг.2) е в корелация със стойностите на стационарния потенциал. Покритието от надстехиометричен TiN показва неудовлетворителни защитни свойства – кривата на анодната поляризация е типична за ускорено анодно разтваряне на стоманата в порите на покритието. Останалите покрития променят характера на кривата – очертава се област на пасивно състояние от потенциала на корозия до 0÷0,1V с много ниски стойности на анодната плътност на тока $2\div4\cdot10^{-3} \text{mAcm}^{-2}$. По нататъшната поляризация повишава анодната плътност на тока на два порядъка и достига пределна стойност, която не надвишава 1mAcm^{-2} . Покритията от TiC (2.3) и водещ TiC подслой (10.3 и 8.4) са с по-малка дебелина и предизвикват по-слаба анодна поляризация на подложката в сравнение с покритието TiN.

Както се вижда от фиг.3 и табл.2. еднослойното и двуслойното покрития обуславят близки стойности на $E_{\text{стац}}$ (-0,333 V и -0,306 V) докато $E_{\text{стац}}$ на проба 8.4

(трислойно покритие) се доближава до този на 9ХС без покритие. В трислойното покритие преди електрохимичните тестове се наблюдават пукнатини, които са причина за отсъствие на защитни свойства. Това се потвърждава и от потенциодинамичните анодни криви (фиг.4) - крива 8.4 следва хода на анодната крива на стомана 9ХС. Ходът на потенциодинамичните криви на проби 2.3 и 10.3 съответства на затруднено анодно разтваряне, като в интервала на стойности на потенциала от 0 до $+0,8\text{V}$ i_a не надвишава $0,2+1\text{ mAcm}^{-2}$ - стойност на два порядъка по-ниска от i_a за стомана без покритие.



Фиг.3. Криви “свободен потенциал – време” в 3 % NaCl на стомана 9ХС без покритие и с покрития с водещ карбиден подслой



Фиг.2. Потенциодинамични криви в 3 % NaCl на стомана 9ХС без покритие и с покрития с водещ карбидеи подслой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнителното изследване на електрохимичното поведение на едно- и многослойни покрития от фазите TiN и TiC, отложени върху стомана 9ХС с предварително нанесен подслой от Ti с дебелина $\sim 1\text{ }\mu\text{m}$ показва, че за защитните им свойства от най-голямо значение са общата дебелина на композицията и отсъствието на пукнатини, достигащи подложката.

Трислойното покритие TiC/TiN/TiC показва повишена крехкост с дебелина $5\div 7\text{ }\mu\text{m}$ и не притежава защитни свойства, докато в покритието TiN/TiC/TiN дори при дебелина $7\div 10\text{ }\mu\text{m}$ няма пукнатини, разслояване и отслояване от подложката, като образецът с това покритие демонстрира най-добри защитни свойства от всички изследвани образци.

Покритието Ti/TiN с надстехиометричен състав има неудовлетворителни защитни свойства при дебелина $5\div 6\text{ }\mu\text{m}$. При същата дебелина покритието Ti/TiC/TiN осигурява много добра защита от корозия на стомана 9ХС в 3% разтвор на NaCl.

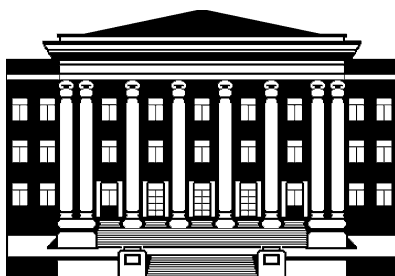
Дебелите $8\div 10\text{ }\mu\text{m}$ покрития Ti/TiN подстехиометричен, Ti/TiN/TiC и Ti/TiN/TiC/Ti силно повишават корозионната устойчивост на 9ХС в 3% NaCl при потенциали до $+0,1\div 0,2\text{ V}$. Над тези стойности на потенциала на външна поляризация защитната им способност е еднаква с тази на по - тънките ($4,5\div 7\text{ }\mu\text{m}$) Ti/TiC и Ti/TiC/TiN покрития.

Литература:

- 1) Димитрова, В., Д. Цанева, Коррозионно-защитные свойства вакуумноплазменных TiN покрытий, имплантированных йонами бора, Вакуумная техника и технология, т.3, 5-6 (1993) 31-34.
- 2) Massiani, Y. et al, Thin Solid Films, 191 (1990) 305-316.
- 3) Rocha, L.A. et al., Structural and corrosion behavior of stoichiometric and substoichiometric TiN solid films, Surface and Coating Technology, 180-181 (2004) 158-163.
- 4) Takizawa, K. et al., J. Surface Finish. Soc. Jap., 42, 11 (1991) 1152-1157).

За контакти: Диана Цанева, Русенски Университет “Ангел Кънчев”, Катедра: „Материалознание и технология на материалите“, тел.: 082-888 307, e-mail: dvc@ru.acad.bg

**РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
“АНГЕЛ КЪНЧЕВ”**



СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ СНС'09

П О К А Н А

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

Факултет „Машинно-технологичен“

**СБОРНИК ДОКЛАДИ
на
СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ – СНС'08**

Под общата редакция на
доц. д-р Стоян Стоянов

Отговорен редактор:
доц. д-р Ангел Смикаров

Народност българска
Първо издание

Формат: А5
Печатни коли: 10
Тираж: 25 бр.

ISSN 1311-3321

Печатна база
при Русенски университет “Ангел Кънчев”

<http://conf.ru.acad.bg/bg/>

Научна конференция на Русенски университет - 2008 - Windows Internet Explorer

http://conf.ru.acad.bg/bg/

ICQ Search

ICQ Search

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 доклади
- Такса за право на участие
- Фирмено участие
- Срокове
- График на провеждане
- Адрес за кореспонденция
- Телефони за резервация
- Програма на конференцията
- Сборник с доклади

СТУДЕНТСКА НАУЧНА СЕСИЯ

- Покана за участие
- Сборник с доклади

"Work, finish, publish" Michael Faraday



НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ

31.10 - 01.11.2008
ПОСВЕЩАВА СЕ
НА ДЕНЯ НА НАРОДНИТЕ БУДИТЕЛИ

Copyright © 2008

Done

Internet

100%