

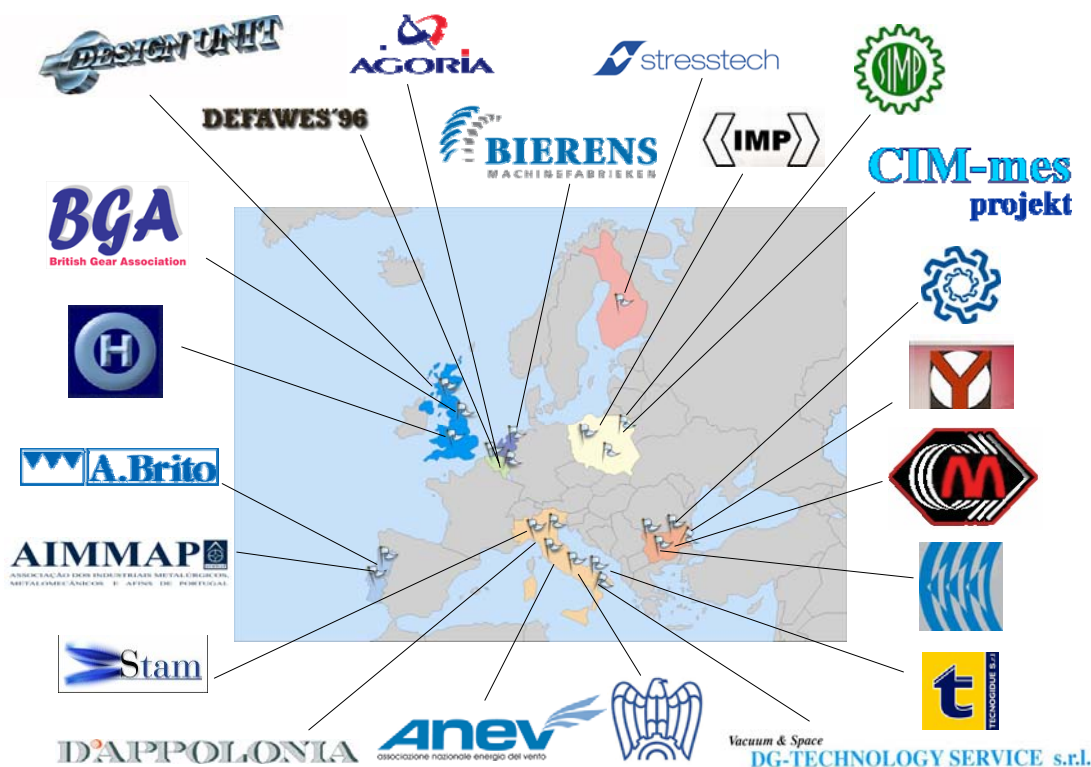


## X-GEAR – ЕВРОПЕЙСКИ ПРОЕКТ В ПОМОЩ НА ПРОИЗВОДИТЕЛИТЕ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ

X-GEAR – AN EUROPEAN PROJECT IN AID OF GEAR TRAINS MANUFACTURERS

Димитър Караиванов

Проектът „Разработване на зъбни предавки на базата на нови материали и авангардни зъбни козела“ (Development of Gear-Drive Trains Based on New Materials and Novel Gear Systems), с работно название X-Gear, се разработва по VI рамкова програма. Договорът е подписан на 28 август 2006 г. Участват 22 партньори от Белгия, България, Великобритания, Италия, Полша, Португалия и Финландия. България е представена от НТС по машиностроене, Института за космически изследвания при БАН, „Дендрит“ ООД - София и „Техноконтат Интернешънъл“ ООД - Русе. Колективът включва 4 Научно-изследователски организации, 7 индустриални сдружения (научно-технически съюзи) и група от 11 малки и средни предприятия, които се занимават с всички аспекти на работата по проекта, от първоначалната изследователска концепция до разпространяването на окончателните резултати. Координатор на проекта е италианската инженерингова компания D'Appolonia SpA - Геноа.



### Основните цели на проекта са:

- Разработването на нови технологии и нови материали за ново поколение зъбни козела с наклонени зъби, характеризиращо се с високи показатели по отношение на точност, товароносимост, надеждност и трибология.
- Повишаване на международната конкурентоспособност на европейските производители на зъбни предавки и трансмисионни машинни елементи.
- Намаляване на вредното влияние върху околната среда на технологията на производството на зъбни козела, особено на закаляването в маслена вана.
- Намаляване на времето за производство и броя на технологичните операции, особено за дребносериеното производство на зъбни козела с високи експлоатационни показатели.

- Разработване на указания, най-добри практики и методики за конструиране и производството, свързани с предложените авангардни технологии с цел стимулиране на стандартизацията и хармонизацията.
- Разработване на Обучаващ веб-портал, съдържащ модули за дистанционно обучение, за да се улесни запознаването и въвеждането на разработените технологии от разпръснатата европейска общност от МСП в областта на машиностроенето, включително на производителите на зъбни козела и трансмисионни машинни елементи.
- Стимулиране на кооперирането между търговските асоциации, производителите и научно-изследователските центрове в областта на производството на зъбни предавки и други трансмисионни елементи, с възможност за междуетраслово коопериране с други отрасли на промишлеността.

## Научно-изследователска работа

Научно-изследователската работа по проекта е насочена главно в следните направления:

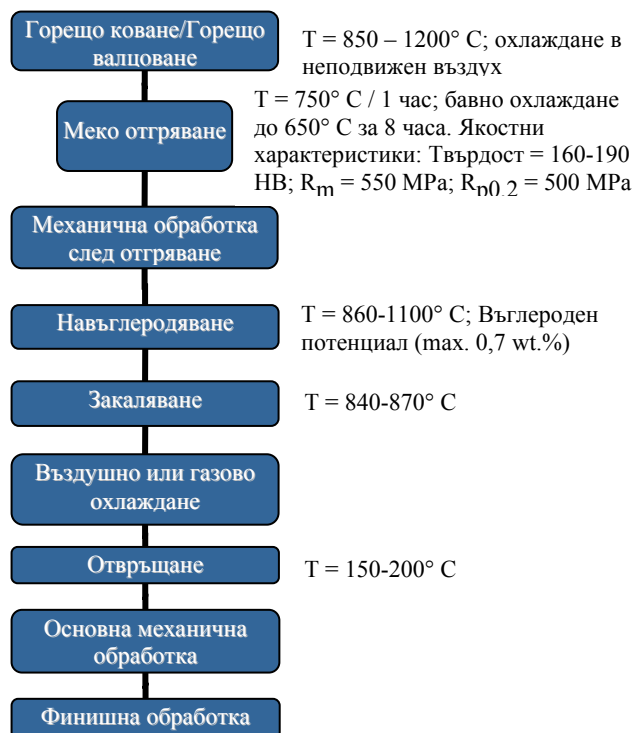
- Разработване на нови материали, започвайки от нови самозакаляеми (мартензитни) и въздушно закаляеми стомани, авангардни синтеровани стомани и нанопрахове.
- Разработване на нови процеси, които обединяват най-съвременните достижения в областта на материалите, инструментите (като конструкция и материал), автоматизацията, термичната и механичната обработки, иновационните допълнителни обработки и прилагането на различни методи на праховата металургия.
- Разработване на технологии за реализиране на всички предимства на нанопокритията.
- Създаване на цялостни производствени технологии за изработване на авангардни зъбни колела с наклонени зъби от нови марки стомани с нови повърхностни обработки и покрития за автомобилната индустрия и вятърните генератори.

## Нови материали

По отношение на новите материали са постигнати следните резултати [5]:

Изследване на възможностите за използване на **въздушнозакаляеми стомани** при производството на зъбни колела и определяне на най-подходящите марки. При закаляването на тези стомани целият процес на охлаждане протича на въздух, без да се налага използването на масло или вода. По този начин значително се намалява рискът от деформиране на изделието. Също така се намаляват производствените разходи (до 30 %) и замърсяването на околната среда (не се използва масло) [3].

Изследванията по проекта са съсредоточени върху две марки стомана, производство на OVACO [13]. Повърхностно закаляемата стомана OVATEC 277, която достига твърдост 350 HV при охлаждане със скорост под 0,4 градуса в секунда (при традиционната стомана 16MnCr5 същата твърдост се постига при охлаждане със скорост 18 градуса в секунда) и обемно закаляемата OVATEC 677. На фиг. 1 е показан технологичният цикъл за производството на зъбни колела от стоманата OVATEC 277 [10].



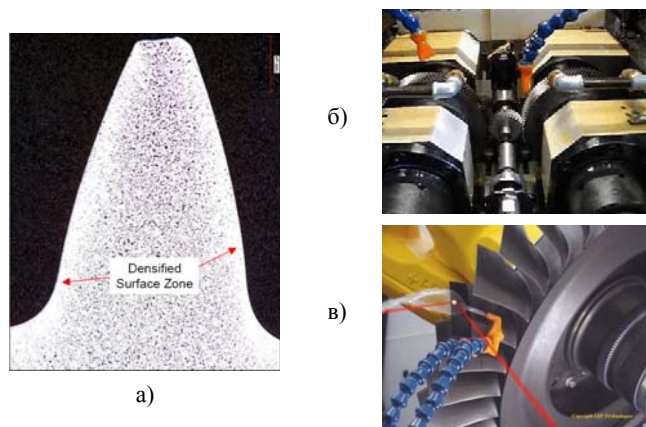
Фиг. 1. Технологичният цикъл за производството на зъбни колела от стоманата OVATEC 277 [10]

## Избор на подходящи синтеровани стомани.

Методът на праховата металургия (пресоване и синтероване на разпрашени метали) е подходяща технология за изработване на тежко натоварени, едрогабаритни детайли, изискващи голяма точност [8]. Окончателната форма и качество на повърхнините се получава с малко на брой операции и незначителна механична обработка. Всичко това намалява разходите и прави технологията конкурентоспособна, особено при едросерийно и масово производство на детайли със сложни форми.

Поради спецификата на технологията синтерованите стомани се получават с пореста структура и съответно по-малка плътност (около  $7 \text{ g/cm}^3$ ) в сравнение с валцуваните.

За изделия, подложени на високи контактни напрежения, напр. зъбните колела на силовите задвижвания, е необходимо да се постигне максимална плътност на работната повърхност. Поради тази причина непрекъснато се търсят начини за получаване на детайли с по-голяма плътност още в процеса на синтероване. Независимо от това, за детайли с високи изисквания към якост на умора (контактна и на огъване), каквито са зъбните колела, е необходимо и допълнителна обработка за уплътняване на работните повърхнини (валцоване, лазерна обработка, дробеструйна обработка).



Фиг. 2. Уплътняване на работната повърхност на зъбите  
а) уплътнен повърхностен слой на зъб от синтерована стомана;  
б) уплътняване чрез валцоване;  
в) уплътняване чрез лазерна обработка (лазерно наклепване)

Зъбни колела с наклонени зъби, използвани в автомобилните скоростни кутии, понастоящем се правят от ковани стомани, понеже обикновената ПМ стомана не отговаря на изискванията за висока издръжливост (якост на умора) на материала и точност на размерите. Нов ПМ процес и нови прахове се изследват в момента, за да бъде подобрена якостта и устойчивостта на умора на синтерованите зъбни колела. В рамките на проекта е направен преглед на различните видове синтеровани стомани, за да се намерят най-подходящите за производство на зъбни колела марки.

От направения анализ се вижда, че измежду производителите на прахове на желязна основа Höganaes Corporation и Höganaes AB са най-активни в изследванията за разработване на зъбни колела с високи показатели за приложение в автомобилната промишленост. Като най-подходящи за целите на проекта се оказаха стоманите на Höganaes AB, получени от праховете Astaloy и Hupaloy [6].

- Astaloy праховете са предварително легирани прахове, получени чрез разпрашаване с вода на стоманени стопилки → Astaloy 85 Mo, Astaloy CrM, Astaloy CrL.
- Hupaloy (не са пуснати в търговската мрежа): разработена за нови приложения, изискващи висока плътност →  $7,5 - 7,6 \text{ g/cm}^3$ . Притежават механичните характеристики на кованата стомана, постигнати с конвенционална топлинна обработка – повърхностно закаляване, обемно закаляване,

закаляващо синтероване. Легиращ елемент: графит 0,25 wt.% C-UF4.

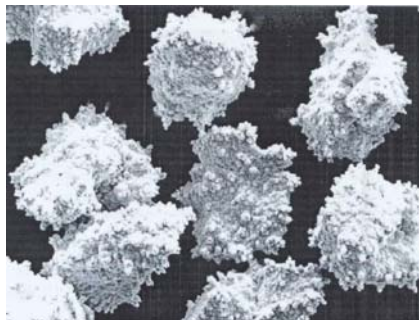
#### Създаване на нанопрахове.

В рамките на разглеждания проект са модифицирани нанопрахове, които се получават по взривен метод, познати като ултрадисперсен диамантен прах (UDDP). Методът е патентован от български колектив от Института за космически изследвания при БАН, ръководен от проф. д-р Ставрев [11]. Нанодиамантите се получават чрез контролирана детонация в охлаждаща газова среда. На фиг. 3 е показана детонационната камера, разработена от колектива. Частиците имат заоблена форма, вследствие на което към твърдостта и изнosoустойчивостта на диаманта се прибавят и смазващи свойства. Високата им термоустойчивост ги прави подходящи за използване за заякчаване на метални композитни материали, синтеровани при високи температури.



Фиг. 3. Детонационната камера за получаване на ултрадисперсен диамантен прах

Технологията позволява покриване на частиците с друг метал (сребро, никел) за постигане на специфични свойства на покритието (фиг. 4). Полагането на такива покрития върху работната повърхност на зъбните колела води до значително удължаване на техния срок на експлоатация (ресурс).



Фиг. 4. Нанодиамантни частици покрити със сребро

#### Нови технологии

Усилията са насочени към усъвършенстването на технологията за четири нови метода за нанасяне на покрития, чиято цел е да се повиши изнosoустойчивостта, да се намали коефициентът на триене и да се постигне самосмазващ ефект.

#### Термично пулверизиране (шприцване) на покрития

Група от процеси с които метални, керамични, и някои полимерни материали във формата на прах, тел или пръчка се вкарват в нанасящото устройство, където се нагряват близо или малко над точката им на топене.

Стопените или почти стопените частици от материалите се събират в газов поток и се насочват срещу повърхнината, която следва да бъде покрита. С удар пулверизираните частиците, като тънък филм прилепват към обработваната повърхност, наслояват се и се втвърдяват. Общата дебелина на покритието се получава обикновено чрез многократно преминаване на нанасящото устройство.

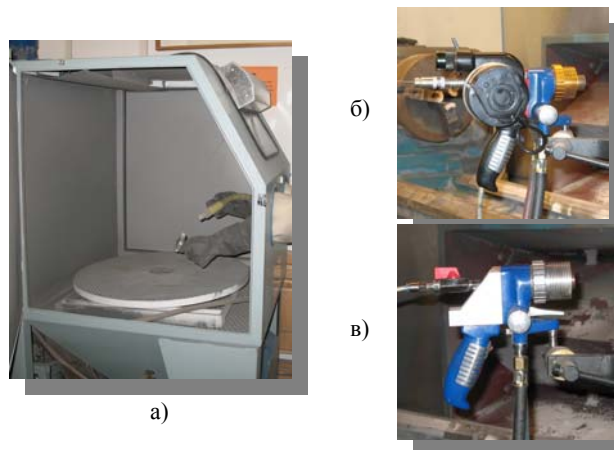
В проекта X-Gear са използвани две техники на термично пулверизиране:

**Високо скоростно окисително (газо-пламъчно) пулверизиране** и **Взривно-пистолетно пулверизиране**. Тези технологии са избрани, като най-иновационни и перспективни от всички други технологии за термично пулверизиране.

При високо скоростното окисително пулверизиране се използва кинетичната енергия на излизащия с голяма скорост ( $500 \text{ m/s}$ ) от дюзата пламък за постигане на покритие с висока плътност и адхезия.

При взривно-пистолетния метод на пулверизиране нанасяното покритие се смесва с кислород и ацетилен във взривната камера на „пистолета“ и с помощта на искра се предизвиква детонация. Разтопените и ускорени (до  $750 \text{ m/s}$ ) от взривната вълна частици се нанасят върху обработваната повърхност. Процесът е цикличен и се повтаря с честота 10 пъти в секунда. При всяка детонация върху кръг с диаметър 25 mm се отлага покритие с дебелина няколко микрометра. Равномерна дебелина на покритието върху детайла се постига чрез прецизно припокриване на кръгчетата. При този метод нанасящият поток е с най-голяма скорост, налягане и плътност в сравнение с другите методи.

Разработени са установки за подготовка (обезмасляване и активиране на повърхнините) на детайлите (фиг. 5а) и нанасяне на покритието (фиг 5б и в). Както се вижда от фигурите, установките са максимално прости и лесни за експлоатация и поддържане.



Фиг. 5. Технологично оборудване за газопламъчно нанасяне на покритие

- а) установка за активиране на повърхността на детайла;
- б) пистолет за нанасяне на покритие под формата на тел;
- в) пистолет за нанасяне на покритие под формата на прах.

Основен недостатък на тази технология е необходимостта от шлифоване след нанасянето на покритията. Това я прави не много подходяща за използване при зъбните колела, особено от малките и средни предприятия, които не разполагат с шлифовачни машини (още повече, че голямата твърдост на покритието предполага диамантено шлифоване). Въпреки това тази технология би могла да намери приложение при други машинни елементи.

#### Паро-физично отлагане (PVD)

Използва се за покриване на детайли с тънък слой от друг материал. Изпаряването на материала, който ще се отлага, може да бъде извършено като се използва **термично изпарение** или „пръскане“.

При термичното **изпарение** атомите или йоните на материала-източник се въвеждат във вакуумната камера, където се нагряват до точката на топене. Парите от материала кондензират под формата на тънък филм върху студената повърхност на детайла и върху стените на вакуумната камера.

Методът „*пръскане*“ се състои в бомбардирането на повърхността-източник с високоенергийни йони на инертен газ, въведени във вакуумната камера.

### Електро-искрово отлагане (ESD)

Процесът се извършва с използване на консумируем електрод (анод). При него капацитивно изпражнение стопява и ускорява материала на електрода (материала за покритието) към покривания детайл (катод). Този пренос на материала протича в плазма, която се образува при искровия разряд, в резултат от което се получава здрава металургична връзка между покритието и повърхността на детайла, дължаща се на мигновеното стапяне в плазмата.

### Безтоково отлагане

Съществен български принос към проекта X-Gear е разработената от ст.н.с. Здравка Карагъзова и проф. д-р Ставри Ставрев технология за безтоково отлагане на композитно наноструктурирано никелово покритие [15].

Методът на безтоковото отлагане се характеризира [9] с:

- еднаква дебелина на слоя по цялата повърхност на детайла, дори и при сложна форма;
- наличието на по-малко пори и следователно добра корозоустойчивост;
- проста технология.

Химическите никелови покрития намират все по-голямо приложение поради по-малкото замърсяване на околната среда (например в сравнение с хромирането) [13].

Третирането на никела с нанодиамантен прах придава на покритието [2]:

- изключителна износоустойчивост;
- отлична твърдост;
- повишена корозоустойчивост;
- повишена дифузия на топлина;
- приложимост към всички широкоизползвани метали и сплави;

Неизискващата сложно оборудване технология на кратко може да се охарактеризира така:

1. Почистване на детайла (препоръчват се да се проведе на два етапа – почистване с ултразвук в органичен разтвор и алкално химическо почистване);
2. Химическа активация (третиране с киселинен разтвор);
3. Никелиране – на два етапа:
  - нанасяне на предварителен никелов слой;
  - нанасяне на композитен наноструктуриран никелов слой.
4. Термообработка (6 часа при 290° C) – за по-добра адхезия между покритието и базовия метал, което подобрява физичните и механични свойства на покритието.

В резултат на изследванията са подбрани два вида нанодиамантни частици (ND и ND+cBN) като особено подходящи за употреба при зъбни колела.

### Пресмятане и конструиране

Предимствата на зъбните колела с наклонени зъби (плавност и безшумност) ги правят много подходящи за използване в автомобилостроенето и предавките на вятърните генератори. Една от целите на проекта е да се отстрани основният им недостатък – по-големите (в сравнение с предавките с прави зъби) загуби в зацепването, водещи до намаляване на к.п.д. и по-голямо загряване. Тази цел се постига с оптимизиране на зъбната геометрия, повишаване на точността при изработването на зъбните колела и създаването на нови покрития и повърхностни обработки, които осигуряват по-малък коефициент на триене. По отношение на повишаването на точността трябва да се отбележи, че и досега съществуващите технологии позволяват постигането на желаните точност и качества на повърхностите. Предимството на предложените в проекта технологии е, че постигат същата

точност с по-малък брой производствени операции<sup>1</sup>. Добре подбраните нови стомани дават възможност пълноценно да се използват възможностите в това отношение на праховата металургия и закаляването при бавно охлаждане (на въздух).

Опитът показва, че по-сложните изчисления са пречка пред въвеждането на зъбни колела с по-сложна геометрия. Особено малките и средни предприятия не разполагат със специалисти с необходимата теоретична подготовка, които да са в състояние да разработят зъбна предавка, съобразена с последните достижения на теорията на зъбното зацепване [1], [4], [7], [14]. Тук трябва да се има предвид, че никое учебно заведение не подготвя специалисти по зъбни предавки. Такъв се става след старателно самообразование и натрупване на опит в подходящ колектив.

По тази причина в рамките на проекта X-Gear се разработват препоръки да пресмятане и производство на зъбни колела<sup>2</sup>.

Към настоящия момент са готови препоръки за подобряване на експлоатационните показатели на зъбните предавки с помощта на промени в параметрите на зъбното зацепване. Препоръките са предварителни и след провеждане на експерименти те ще бъдат коригирани и доуточнени. Те се отнасят до намаляване на загубите в зацепването, намаляване на пиковите стойности на контактните напрежения, свеждане до минимум на опасността от задиране и намаляване на грешките при изработването (водещи до повишаване на динамичните натоварвания и шума). Усилията са съсредоточени върха подобряване на параметрите на микрогеометрията (надлъжни модификации, височинни и профилни модификации на главата на зъба и др.) и малки корекции на макрогеометрията (брой на зъбите, модул, ъгъл на зацепването, ширина на зъба и др.) на зъбните колела. Не на последно място се държи сметка за намаляване на производствените разходи и намаляване на вредното влияние върху околната среда.

Разработен е и програмен продукт, който да улесни работата на инженерите от малките и средни предприятия при пресмятането на зъбни колела с наклонени зъби.

### Експериментална част

Важна част от работата по проекта са проведените изпитвания на новите материали, покрития и променената геометрия на зъбното зацепване.

От **синтерованите стомани** са изследвани свойствата на гореспоменатите две марки стомани:

Astaloy - образци за изследване на контактна умора при търкаляне (Rolling contact fatigue – RCF) и на умора на огъване с въртене (Rotating bending fatigue – RBF) (n° 25).

Hupaloy - образци само за изследване на умора на огъване с въртене (RBF) (n° 25)

При изпитването на умора на огъване с въртене, опитните образци (епруветки, фиг. 6) са изработени по следните технологии:

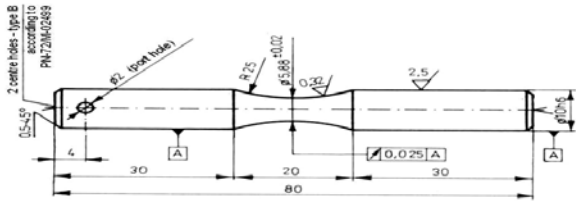
Образци, получени от Astaloy 85 Mo, са пресовани при 600 МПа и синтеровани при 1120 °C за 30 минути при атмосфера от 90% N<sub>2</sub> и 10% H<sub>2</sub>+0,3% метан. Извършено е лазерно уплътняване на дълбочина 0,3 mm.

Образците, получени от Astaloy 85 Mo, са пресовани при 600 МПа и синтеровани при 1120 °C за 30 минути в атмосфера от 90% N<sub>2</sub> и 10% H<sub>2</sub> + 0,3% метан.

Образците за изпитване на контактна умора първо се пресоват до заготовки с размери, по-големи от номиналните. След това се обръщат и се пробива централният отвор с размери, малко по-големи от крайните (Фиг. 7 а).

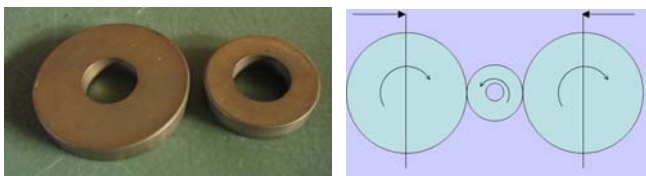
<sup>1</sup> Тези предимства и до сега са добре известни. Заслугата на проекта е, че предлага подходящите материали.

<sup>2</sup> В лабораторията по зъбни предавки на Университета в Нюкасъл, Великобритания



Фиг. 6. Образец (пруветка) за изпитване на умора при огъване чрез въртене (Rotating bending fatigue – RBF)

Процесът на повърхностно уплътняване се извършва чрез валцоване между цилиндрични валци (Фиг. 7 б). След валцоването се прави проверка на промяната на пористостта, за оценка на степента на уплътняване. Термичното обработване се състои от навъглеродяване при 920 °C за 65 минути, закаляване в масло при 60 °C, отвършване при 180 °C за 1 час. Накрая се извършва финална обработка на лицевата страна и на изпитваната повърхност.



а) б)

Фиг. 7. Образци за изпитване на контактна якост (а) и тяхното повърхностно уплътняване (б)

Резултатите от експериментите са съпоставени с тези за традиционната стомана 17CrNiMo6.

Повреди от контактна умора във вид на микропитинг на повърхността са констатирани върху всеки образец след преминаване през  $3 \times 10^6$  цикъла на натоварването при контактни напрежения от 1,9 GPa.

Установено е, че образците от Astaloy 85 Мо дават резултати, превъзхождащи по устойчивост на контактна умора образците, изработени от 17CrNiMo6 със значително намаляване на нивото на микропитинга, наблюдавано в края на теста. Това показва следователно добър потенциал за високи експлоатационни качества на зъбните колела, изработени от Astaloy 85 Мо.

В момента се провеждат изпитвания на умора при огъване.

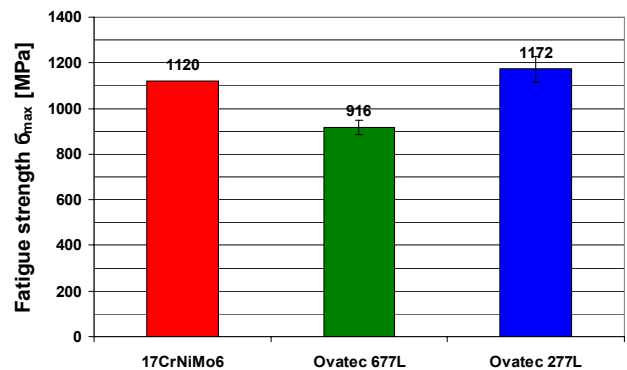
От въздушно закаляемите стомани са изпитани гореспоменатите Ovatec 277L и Ovatec 677L, като резултатите са съпоставени с тези за традиционната повърхностно закалена 17CrNiMo6.

Експериментите показват (фиг. 8), че якостта на умора на огъване на Ovatec 277L е малко по-добра от тази на традиционната 17CrNiMo6. При Ovatec 677L границата на умора се оказва по-малка и е необходима допълнителна повърхностна обработка. Екипът на проекта счита, че сачмоуструйната обработка ще даде необходимите резултати.

Другите предимства на Ovatec 677L определено оправдават прилагането на сачмоуструйното уякчаване, което всъщност се използва и сега при производството на зъбни колела с високи експлоатационни характеристики.

При изпитванията на контактната умора с напрежения от 1,9 GPa след достигане на  $3 \cdot 10^6$  цикъла на натоварването при

всеки от образците се наблюдава появата на микропитинг по повърхността. Анализът на резултатите показва, че якостта на контактна умора на Ovatec™ 277L и Ovatec™ 677L е съпоставима с тази на 17CrNiMo6 и нивата на микропитинг, наблюдавани в края на всяко от изпитванията ( $10^6$  цикъла), са сравними. Поради това и двете въздушно закаляеми стомани са подходящи за мощни зъбни предавки.

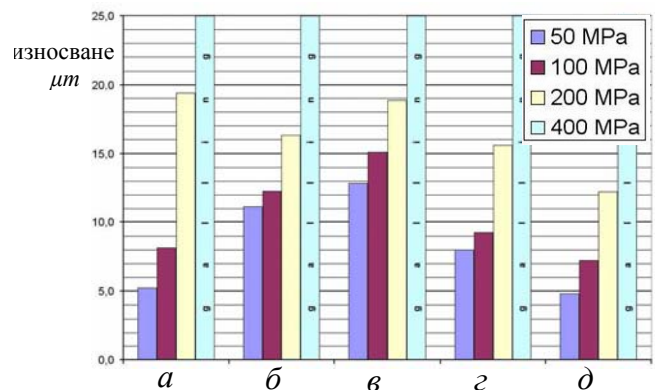


Фиг. 8. Границата на пълна умора при огъване по симетричен цикъл на опитен образец за трите марки стомана

Проведени са много подробни изпитвания на ролки с термично пулверизираните покрития за определяне на твърдостта, износоустойчивостта, адхезията и корозоустойчивостта им.

Интерес представляват резултатите от изпитванията на композитните наноструктурирани никелови покрития.

На фиг. 9 са показани резултатите от изпитванията на износоустойчивост. Най-добри резултати са постигнати при образците със слой от Ni+ND с термообработка. Нарушаване на слоя (galling) се явява след 80 минути изпитване на термообработено покритие с Ni+ND, докато при всички други варианти на покритие то се случва много по-скоро (50-60 минути след началото на експеримента).



Фиг. 9. Средни стойности на износване на образците след навъглеродяване и покриване с безтоково отлагане а – без покритие; б – Ni+cBN; в – Ni+cBN и термообработка; г – Ni+ND; д – Ni+ND и термообработка

Определянето на адхезията и други видове механични поражения на изследваните повърхностни слоеве са направени с помощта на прибора за анализиране чрез надраскване REVETEST, произведен от фирма CSEM.

Образците са химически обработени, за да се получат подходящи повърхностни слоеве.

Със сила на натоварване, постепенно нарастваща от 1 N до 100 N за една минута, са направени по 3 драскотини на всеки образец с линейна скорост на пенетратора 10 mm/min. При изследването е използван диамантен пенетратор Rockwell тип C.

След теста с надраскване образците са подложени на микроскопски наблюдения (използвани са два микроскопа –

оптичен и сканиращ електронен), за да се оцени характера на пораженията и да се определи критичното натоварване.

Изследванията са направени по действащия стандарт PN-EN 1071-3.

Най-добра адхезия на повърхностния слой към субстрата е установена при покритието Ni+ND с термична обработка (ТО).

Изследванията на **корозионна устойчивост** са направени чрез тест в солена пулверизираща камера.

- Най-висока корозионна устойчивост е установена при образците, покрити със слой от Ni+cBN (ТО) - термообработени в последствие.

- Покритието от Ni+ND (ТО) показва корозионна устойчивост както следва: след 48 часа е наблюдавана основна корозия от около 0,25% от повърхността на образеца; след 360 часа - основна корозия от около 5% от повърхността на образеца и потъмняване на слоя.

- Покритието от Ni+cBN и Ni+cBN (ТО) показва най-добра корозионна устойчивост: след 48 часа – слой без изменения, след 360 часа – 1 точкова корозия на повърхността на образеца и съвсем леко потъмняване на слоя.

Сред всички варианти на покрития най-високи стойности на **микротвърдост** показва слоя с Ni+ND с последваща термична обработка (ТО). При всички покрити образци е установено значително увеличение на повърхностната твърдост след термична обработка.

- Установено е, че композитните покрития от Ni-P-ND, включващи наноразмерни диамантени частици, са с по-добри физични и механични свойства в сравнение с тези, включващи микронен cBN;

- Най-високи стойности на твърдост до HV0,02 =1245 са измерени при покритията от Ni+ND с последваща термична обработка.

Установено е, че сумарната степен на покриване се влияе от размера на частиците в разтвора за покриване - степен на покриване се увеличаваше в присъствието на нанодиамант.

От проведените изследвания на **композитните наноструктурирани никелови покрития** може да се направи заключение, че:

- Отношението на дебелината на покритието към размера на частиците изглежда има значителен ефект върху някои физични и механични свойства на покритията;

- Във всички случаи, композитното покритие от Ni-P е по-устойчиво след термична обработка, поради засилена дифузия на никела в субстрата;

- Повърхностите на всички образци са много гладки при наличието на фино диспергирани частици и се наблюдава запълване на микропорите;

- Методът може да бъде използван за възстановяване на зъбни колела след изтичане на експлоатационния им срок, т.е. могат да се спестят разходи за труд, енергия и материали;

- Методът позволява нанасяне на покрития върху сложни форми, каквито са зъбните колела;

- Методът дава възможност за механизация и автоматизация на работния процес, т.е. приложим е в автомобилната индустрия;

- Методът е енергоспестяващ и опазващ околната среда.

В Лабораторията по зъбни предавки на Университета в Нюкасъл се провежда широка експериментална програма за определяне на якостта на огъване и контактната якост на зъбни колела, изработени в съответствие с **препоръките за подобряване на експлоатационните показатели** на зъбните предавки с помощта на промени в параметрите на зъбното зацепване.

Експериментите се провеждат на разработени в лабораторията стендове за определяне а контактната якост при реално зацепени зъбни колела и за определяне на якостта на огъване чрез натоварване с пулсатор.

НТС по машиностроене, като партньор по проекта разполага с всички резултати от гореспоменатите експериментални изследвания и е готов да ги предостави на заинтересованите.

## Заклучение

**Основната идея на проекта X-Gear** е да се подпомогнат **малките и средни предприятия** в бранша, които нямат необходимия научен и финансов потенциал за развойна дейност. Резултатите, плод на труда на изявени учени от няколко държави, ще бъдат предоставени на евентуалните потребители под формата, както на ноу-хау, така и на готови технологични приспособления, машини и установки. Въпреки че проектът още не е завършен, постигнатото до момента показва, че на разположение на производителите на зъбни колела и други трансмисионни елементи ще бъдат предоставени реални конструктивни и технологични решения на основни проблеми на якостта, износоустойчивостта, надеждността и енергийната ефективност на произвежданите изделия, както и на икономичността и екологичността на технологичните процеси.

Естествено, създадените технологии и материали ще заинтересоват и представителите на други машиностроителни предприятия. Нашият съвет към всички тях е да се обърнат за повече информация към НТС по машиностроене.

Във всички материали по проекта X-Gear се подчертава, че резултатите могат да се използват в зъбните предавки на вятърните генератори. Това ми дава повод да напомня на българските производители, че у нас все още има специалисти, които са в състояние да разработят конструктивна и технологична документация за такива предавки. За да не пропусна някого, няма да изреждам имена от ТУ-София (с филиалите), РУ-А.Кънчев, ХТМУ и др. Изкушавам се само да спомена двама учени от БАН (доста обсъждана в последно време институция) – ст.н.с.И.ст. д.т.н. Кольо Минков, когото цитирам наред с Литвин по въпросите на хиперболоидните зацепвания и специалиста по планетни предавки ст.н.с.И.ст. д-р Кирил Арнаудов, търсен за консултации от швейцарски производители на вятърни генератори.

## Литература

- 1 Абаджиев В. Теория на зъбното зацепване и технически приложения на хиперболоидни предавки. Дисертация. БАН, 2007.
- 2 Balaraju J.N., T.S.N.Sankara Narayanan and S.K.Seshadri, Journal of Applied Electrochemistry, Volume 33, Number 9, (2003), p. 80.
- 3 Davis J. R. Gear Materials, Properties and Manufacture. ASM International, 2005, ISBN 0871708159.
- 4 Dobre G. and all. On Reducing the Parametrical Excitation at Cylindrical Gears. Power Transmissions'06, 25-26 April 2006, Novi Sad, Serbia, p. 33-40.
- 5 Harry A. Project X-Gear. Eurotrans, 6 June 2008, Brussels.
- 6 Höganäs, 2004, Höganäs handbook for sintered components.
- 7 Höhn B-R., Michaelis K., Wimmer A. Low loss gears. American Gear Manufacturing Association. Detroit, Michigan FTM October 2005.
- 8 Interantional Powder Metallurgy Directory, 2008, www.impd.net.
- 9 Libo Li, Maozhong An and Gaohui Wu. Surface and Coatings Technology, Volume 200, Issues 16-17, (2006), p. 5102.
- 10 Lund T., Sjöstrand M. Heat treatment and mechanical properties of Ovatec™ 277 – an update and progress report. Technical report 2/2004, Ovako Steel AB, ISSN 0284-3366;
- 11 Method for synthesis of ultradisperse diamond powder. BG Pat. No.49267, 16.09.1991; US Pat. No.5353708, 11.10.1994.
- 12 Michael D. Feldstein, Surface Technology, Inc.Trenton, NJ, <http://www.pfonline.com/articles/080203.html>.
- 13 Ovako, 2008, web site: www.ovako.com
- 14 Phillips J. General Spatial Involute Gearing. Springer-Verlag, Heidelberg, 2003.
- 15 Stavrev S., Karaguiozova Z. Formation of Ni-layer covers on nanodiamond powder. Proc. of "Nanoeurope", 12-14 Sept. 2006, St. Gallene, Switzerland