

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТРУКТУРАТА И СВОЙСТВАТА НА ДЕФЕКТИРАЛО ЗЪБНО КОЛЕЛО ОТ ЦЕМЕНТУЕМ КЛАС

Руси Русев, Ярослав Аргиров, Живко Димитров

Abstract: Carburized layer of ring gear steel has been studied. Dissolved carbon in the surface of the low-carbon and low-alloyed steels after quenching increased surface hardening of this part. After carburizing this investigated steel (type 18NiCr5-4) has high hardness at the core of the teeth which is a premise for low toughness in this area. In carburized layer in the surrounding surface of the tooth was registered network of cracks which causes high internal stresses. On the surface of the tooth structure is martensitic like needles and in the core is a lamellar bainitic structure. System for quality control in the manufacture of gears include main indicators for incoming and outgoing control which is one of the required conditions for realization need to develop the production.

Key words: carburizing, brittleness, nonmetal inclusions, fatigue toughness, fatigue strength

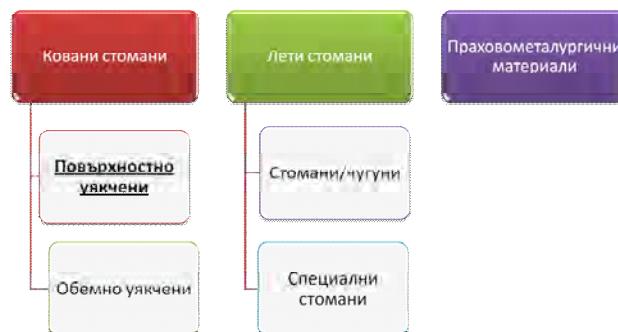
1. Въведение

В последните години в търговската мрежа се срещат резервни части за автомобили, не винаги с ясен произход и необходимите гарантирани експлоатационни свойства. Това е особено опасно за машинни елементи работещи в отговорни и тежко натоварени механизми. Тези елементи обикновено са скъпо струващи и довеждат до дефекцията, както на самата част така и до елементи от самия механизъм. Статията разглежда дефекцията на зъбни колела. Изработката на зъбно колело включва; подбор на материал, технология за изработка и метод на уякчаване на колелото.

В практиката подбора на материалите за изработване на зъбни колела се определя от тяхното предназначение, натоварването на отделните зъби и степента на циклично натоварване **Фиг.1.**



При механизми със значително по-висока степен на натоварване, участващите зъбни колела се изработват от жлезни сплави. Технологичните варианти за получаване на зъбни колела от този вид материали можем да систематизираме по следната схема -Фиг.2.



Фиг. 2. Блокова схема на технологични варианти при изработване на зъбни колела от жлезни сплави и методи за тяхното уякчаване.

От особено голямо значение за изработване на качествен машинен елемент е да се предвиди неговото предназначение и режима му на работа. При предварителни точни разчети на натоварване, можем сравнително правилно да подберем технологията на изработване на зъбните колела, както и начина им на уякчаване.

Летите стоманени зъбни колела са едрогабаритни и имат пределна периферна скорост до 7m/s.

Понеже чугунените зъбни колела са едрогабаритни, контактна им якост е ниска, поради което периферна им скорост се ограничава до 3m/s.

При работа на зъбните колела в специфични среди (повишени температури, корозионни среди и др.) те се отливат от специални материали,

За средно габаритни зъбни колела основно се използват горещо щамповани заготовки. Подбора на материала за този тип изделия се определя до голяма степен от схемата на натоварване, а следователно и от начина на термично уякчаване (обемно закаляване, повърхностна термична или химикотермична обработка).

Обемно закалените зъбни колела се изработват от заготовки със съдържание на въглерод от 0,3 до 0,5%. Дълбочината на закаления слой се определя от начина на закаляване и химичния състав на материала.

Химичният състав определя прокаляемостта на стоманата. Независимо от високата повърхностна твърдост, която притежават този тип колела, те се характеризират и с високи остатъчни натискови напрежения, както на повърхността така и в дълбочината на слоевете. При обемно закаляване, остатъчните напрежения са високи, а твърдостта е сравнително по-ниска, което не дават възможност да се предават големи натоварвания. При цементованите зъбни колела се получава отлично съчетание между висока повърхностна твърдост и жилава сърцевина, което ги прави особено подходящи при използването им в тежко натоварени механизми.

При тежък режим на работа на зъбните колела се прилага повърхностно уякчаване чрез **цементация** (ХТО). Заготовки за този вид машинни елементи се изработват от стомана със съдържание на въглерод до 0,25%С. За по-леки режими на работа и с цел намаляване коефициента на триене, може да се приложи азотиране. Използваните материали за азотиране са обикновено от подобряем клас стомани. Тази технология дава възможност на зъбните колела предварително да се извърши термична

обработка подобрене, след което да се азотират. По-леките режими на работа в този случай се налагат поради по тънките повърхностни слоеве.

2.Основни показатели за качествено произведени зъбни колела.

Изискванията към производство на зъбни колела могат да се разделят на две основни групи:

- а/ Експлоатационни:
- издръжливост на контактна умора;
 - издръжливост на контактна умора при въртене;
 - издръжливост на умора на огъване на зъбите; нискоциклова умора (≤ 105 цикъла до разрушаване) и високоциклова умора (> 105 цикъла до разрушаване);
 - якост на огъване на зъбите;
 - ударна жилавост на зъбите;
 - запазване на твърдостта при повишени температури;
 - издръжливост против задиране.
- б/ Технологични изисквания:
- възможност за деформируемост на стоманата;
 - възможност за обработваемост на стоманата чрез стружкоотделяне;
 - възможност за термична или химикотермична обработка.

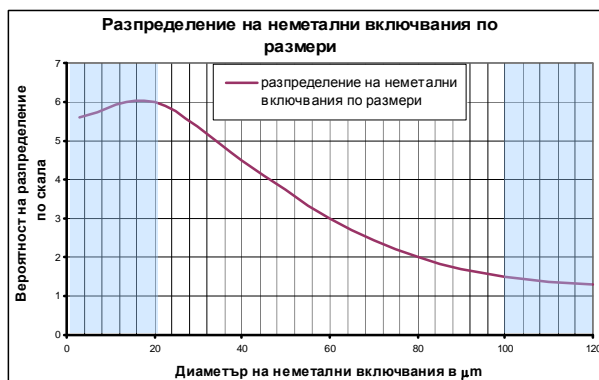
Не винаги се обръща достатъчно внимание на неметалните включвания, шупли, пори и други несвършенства в материала. В зависимост от размерите и вида на неметалните включвания, те могат се систематизират в следния вид(Фиг.3) .



Фиг. 3. Видове неметални включвания в зависимост от тяхната едрина.

Не на последно място трябва да се поставят изискванията за липса на повърхностни дефекти на заготовката (изковка, прокат или отливка).

Свойствата на машинните елементи до голяма степен се определя от формата, размерите и разпределението по размер на неметалните включвания. **Добрата устойчивост на умора се определя от по-високата степен на чистота и по-фино разпределение на неметалните включвания.** На Фиг. 4 е представено разпределението на неметалните включвания в горещо шамповани заготовки за изработване на зъбни колела на фирма „OVAKO” от материал тип ”Ovatec 277L” базов вариант [1]. Варианта материал ”Ovatec 277Q” е с по-висока степен на чистота на материала.



Фиг. 4. Разпределение на неметалните включвания в стомана тип ”Ovatec 277L” за уякчаване на зъбни колела чрез цементация.

Качеството на продукцията от произведените зъбни колела, се определя както от предварително уточнена технология, а така също и от проведения производствен контрол[2] (входящ и изходящ).

Входящият приемен контрол, включва окачествяване на заготовката за изработване на зъбното колело. Той включва основно контрол на следните параметри:

- химичен състав на заготовката;
- наличие на повърхностни дефекти (пукнатини, пори и неметални включвания);
- термична обработка-подобрене;
- бала на зърната да е в изискваните граници;

- определяне бала на неметалните включвания;
- определяне бала на ивичност на структурата;
- уточняване прокаляемостта на стоманата;
- вида на микроструктурата (ферит, перлит).

Приемателен изходящ контрол на партидата произведени зъбни колела включва:

- контролиране, граничните отклонения от геометричните параметри;
- челно биене;
- дълбочина на уякчения слой от предварително поставени свидетели за съответната партида

Основните показатели, за входящ и изходящ контрол са необходими за разработване на система за управление на качеството при производство на зъбни колела, което е едно от задължителните условия за реализация на продукцията.

3.Обект на изследване

На Фиг. 5 е представен зъбна корона от товарен автомобил ”SKANIA”. След пробег от около 20000км. изследвания обект е дефектирал.



Фиг. 5. Дефектирала зъбна корона

От проведения химичен състав[табл.1], се установи, че материала отговаря на стомана марка 18NiCr5-4 по БДС EN 10084

Табл.1. Химичен състав на изследвания обект

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0,19	0,23	0,87	0,008	0,021	1,07	1,20	0,05	0,14	0,02

Извършените изследвания показват, че стоманата е нисковъглеродна, нисколегирана и е подходяща за повърхностно уякчаване посредством цементацията.

Влиянието на отделните химични елементи в стоманата върху механичните свойства и структурата са представени в [Табл.2]

Табл. 2. Влияние на легиращите елементи

Легиращи елементи	Влияние върху свойствата
Манган ,хром ,молибден	Разширяване на мартезитната област включително и при ниска скорост на охлаждане
Ванадий	Повишава якоста и пластичността
Сяра	Подобрява характеристиките на умора на огъване при малко съдържание
никел	Повишава ударната жилавост

3.1. Проявяване на дефекти:

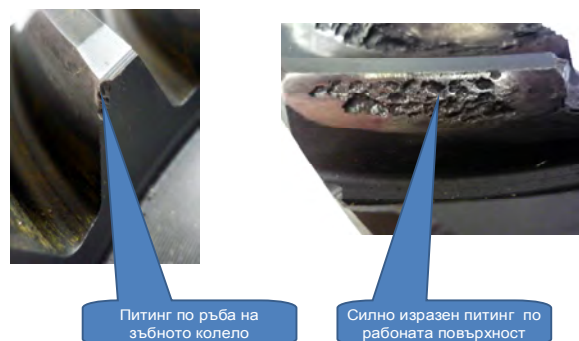
Откъртането на зъби от зъбния венец вероятно е станало поради следните причини:
 а/ несъответствие по отношение твърдостта и дебелината на закаления слой
 б/ несъответствие на химичния състав и чистота на стоманата от неметални включвания спрямо изискванията на стандарта.

3.2.Контролни параметри извършени върху обекта:

Методът на контрол включва извършване на следните дейности: външен оглед, фрактографски изследвания, макро- , микроструктурен анализ и механични свойства.

От външния оглед на повърхнините и ръбовете на зъбите, се наблюдава силно изразен питинг. Вероятна причина е некачествена повърхностна термична

обработка (Фиг.6). Дефекти от този тип довеждат до бърза дефектация на части от самото колело.



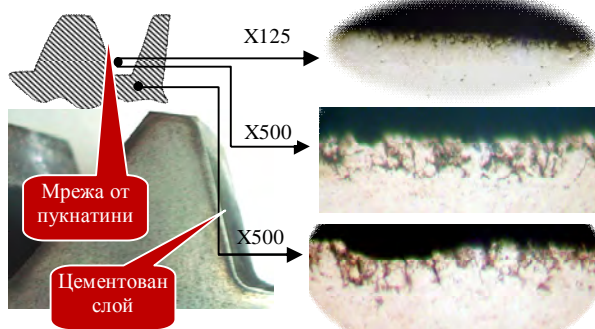
Фиг. 6. Макроструктурен анализ на дефектирала повърхнини от короната

От откъртените елементи на зъба се наблюдава класически уморен лом Фиг.7. Вероятните причини за разрушаване от този тип, е появата на повърхностна пукнатина в ръбовете или по работната повърхност на зъбите в зоните на контакта. Възможностите за този дефект е заниженото качеството на стоманата и извършването на неправилна термичната обработка (изключвайки неточностите на геометричните параметри и начина на контактуване на двойката зъбни колела).



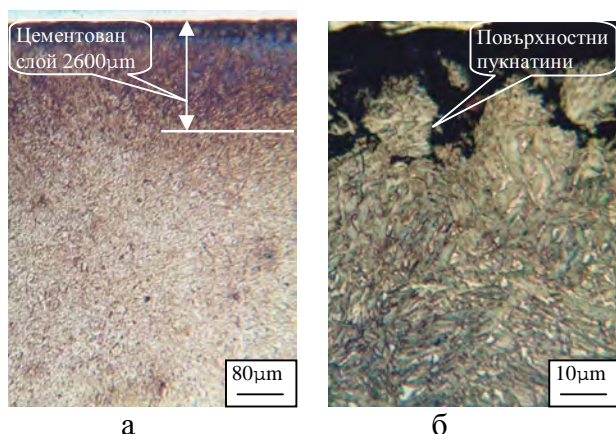
Фиг. 7. Лом от откъртена част на короната

Неправилно подбрани режим на термообработка, води до висока крехкост на повърхността, големи термични напрежения, което е причина за поява на мрежа от пукнатини по периферията на зъба, дори в зоните, където липсва контакт на зъбите Фиг.8.



Фиг. 8. Зони на изразена мрежа от пукнатини

Разрушаването на зъбите е следствие появата на повърхностните пукнатини, които се явяват концентратор на напрежение. Смазвателната течност, в областта на контакта (Фиг.9) запълва пукнатините и значително завишава налягането си, причинявайки откъртане на частици от повърхностната уякчена зона.

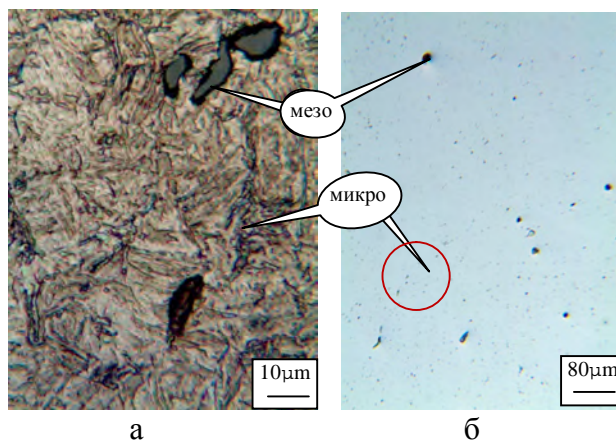


Фиг. 9. Микроструктура: а/ дебелина на закаления слой x125; б/ повърхностни откъртвания от слоя x1000

Значителни концентратори на напрежение се явяват и замърсяванията в стоманата, регистрирани под формата на неметални включения. Много често този факт се пренебрегва, и не се взема под внимание при извършване на дефектация на отделни машинни елементи.

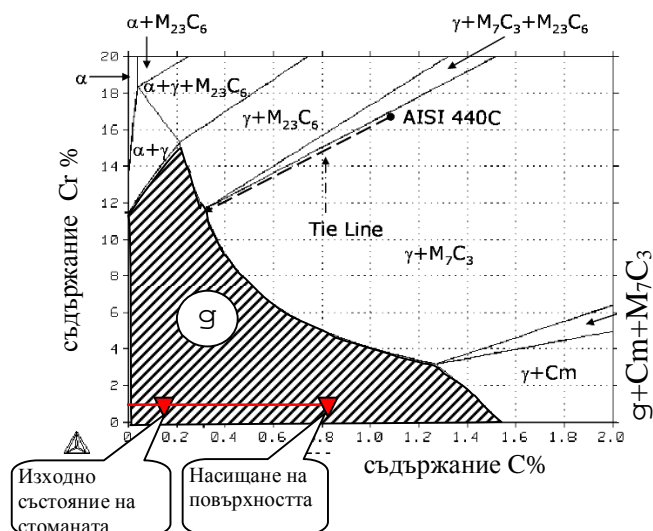
Важно значение оказва размера, формата и начина на разпределението на неметалните включения в стоманата. Балът на неметалните включения е количествена характеристика, за състоянието на структурата. Стоманата, на изследваната зъбна корона е със значително повишено съдържание на неметални включения

(Фиг.10). Извършеното наблюдение върху непроявен и проявен елемент от разрушения зъб показва наличието на мезо- и микро неметални включения.



Фиг. 10. Видове неметални включения при: а/ проявен образец x1000; б/ непроявен образец x125

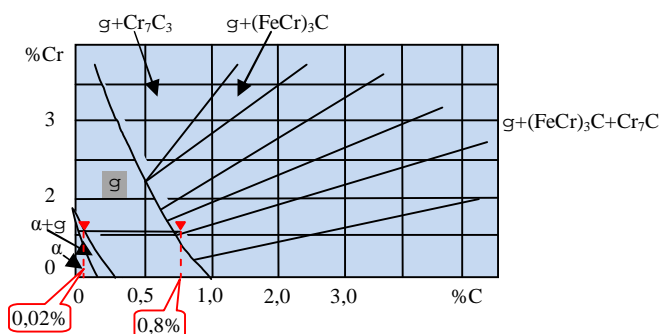
Също така от проведените микроструктурни изследвания се уточни и вида на извършеното термично уякчаване на повърхностния слой - цементация. За уточняване на очакваните фази, в процеса на цементация и повторното нагряване до температура за закаляване, (необходимо условие за получаване на сравнително дребни аустенитни зърна) са разгледани диаграмите на състояние[3] отговарящи на химичния състав на стоманата Фиг. 11.



Фиг. 11. Диаграма Fe-Cr-C до температура 1000°C получена чрез Thermo-Calc, софтуер TCFE2000, на базата на използвани термодинамични параметри.

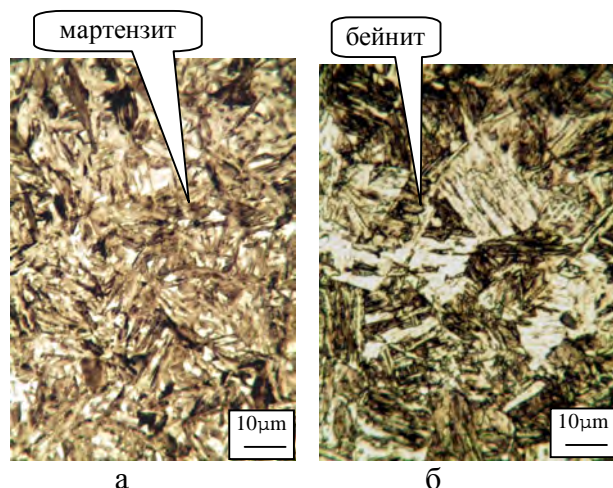
Независимо, че посочената температура на диаграмата е с 30-40°C над

технологичната, наличието на значително количество никел ни дава основание да твърдим, че структурата в процес на цементация е чист аустенит без карбидни отделения. При закаляване на стоманата, от температура около 850°C при наличие на основен легиращ елемент хром е възможно отделяне на железни и хромови карбиди (фиг. 12), но наличието на никел, значително разширява аустенитната област при тези температури. Очакваната структура е мартензит и незначително количество остатъчен аустенит.



Фиг. 12. Политермично сечение от тройната диаграма Fe-Cr-C при температура 850°C.

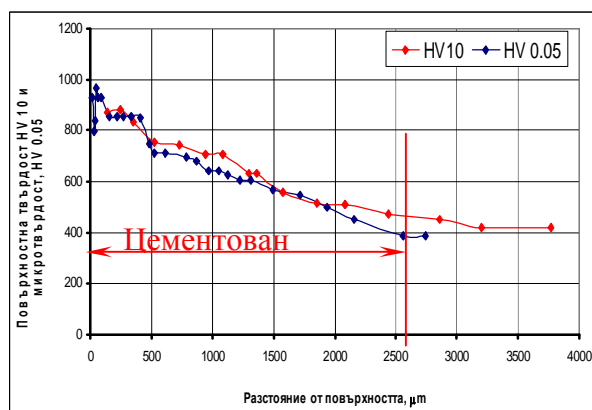
От направения микроструктурен анализ, за изясняване дебелината на закаления слой, са определени основните фази на повърхността и в сърцевината на стоманата (фиг. 13).



Фиг. 13. Микроструктура на зъбния профил: а/ структура на повърхността в закалената област x1000; б/ структура в сърцевината на зъба x1000

На повърхността на зъба структурата е иглест мартензит, а в сърцевината е бейнитна

с пластинчата форма. При извършените измервания на повърхностната твърдост и микротвърдост се установи, че дълбочината на закалената област е около 2600µm. На фиг. 14 е представено разпределението на твърдостта по дълбочина на зъба. Дълбочината на слоя е значително завишена, както твърдостта е по-висока от номиналната (63-64HRC). Получените пукнатини по повърхността на зъба са показател за високи вътрешни напрежения.



Фиг.14. Разпределение на твърдостта (HV 10) и микротвърдостта (HV 0,05) в цементования слой.

Една от причините, която е довела до дефекцията на зъбната корона, е неспазване режима на отвръщане.

4. Заключение :

1. Извършен е входящ контрол на заготовката по предварително подготвена техническа документация;
2. Проведен е изходящ контрол по обосновани контролни показатели на механичната и термична обработка;
3. Подбраната стомана е с висока твърдост в сърцевината на зъба след термообработката (37-39 HRC), което е предпоставка за понижена жилавост в тази зона;
4. Наличието на мрежа от пукнатини по околната повърхност на зъба вероятно се дължи на високите вътрешни напрежения в цементования слой (неправилен режим на отвръщане след цементация);

5. Повишеното съдържание на микро- и мезо неметални включвания, води до понижаване на механичните свойства на стоманата:

6. Нерегламентирано високата твърдост на цементования слой 63-64 HRC, обуславя висока крехкост по контактната повърхност.

Литература:

1. Проект X-GEAR Разработване на зъбни предавки базата на нови материали и нови системи зъбни колела. Адрес:

http://docs.google.com/viewer?pid=bl&srcid=ADGEESiMzv_YEoGmeEuY1O-GYZ

2. Динев Г. Джаджев В. Оценяване качеството на зъбни колела от колоосни редуктори. Технически университет София 2008г.

3. Calculated with Thermo-Calc. Адрес: www.calphad.com/martensitic_stainless_steel_for_knives_part_1.html

За контакти:

9010 Варна, ул. "Студентска"1
Технически университет
проф. д-н. Руси Русев
тел. 052/ 383-586
e-mail: rusi.rusev@tu-varna.acad.bg

9010 Варна, ул. "Студентска"1
Технически университет-Варна,
Катедра МТМ, 9010 Варна,
гл.ас. инж. Радослав Аргиров
тел. 0899 808 657
e-mail: jaroslav.1955@abv.bg

9010 Варна, ул. "Студентска"1
Технически университет, лаборатория
Орган за Контрол „Е-К”
инж. Живко Димитров
тел. 052/ 383-631
e-mail: zh_dimitrov@yahoo.com