



Methods for Specifying the Hardening and Heat Treatment by High-frequency Currents (HFC) of Gears from Steel C45

Yaroslav ARGIROV, Nikolai ATANASOV

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria,
e-mails: Jaroslav.1955@abv.bg, nm_atanasov@abv.bg

Abstract

The surface layer of a forging gear can be effectively heated by EFD induction hardening, method also gives the high mechanical friction and abrasion resistance. Understanding and prediction the structural change during induction hardening is very important. The structure of the induction hardening layer as well as in a depth were tested by microstructural analysis. Also, the microhardness in a depth of the hardened layer was measured.

Keywords: Laser ultrasound, time of flight (TOF), welding, aerospace, carbon fiber composite

Методи за уточняване режимите за повърхностно уякчаване на зъбни колела от стомана C45

Ярослав АРГИРОВ, Николай АТАНАСОВ

1. Увод

Зъбните колела са сред най-разпространените машинни елементи в машиностроенето. Основните съставни части на зъбните механизми като редуктори, моторредуктори и мултипликатори, предавателни кутии, открити зъбни предавки са зъбните колела. От работоспособността на тези машинни елементи до голяма степен зависят надеждността и експлоатационните качества на машинните и съоръженията в които предаването на въртящ момент е свързано с предаване по валове. Зъбното колело се зацепва с другите зъбни колела посредством зъби притежаващи профил, който дава възможност за предаване на въртящия момент, без приплъзване.

Контактът между зъбите има голямо значение за зъбните предавки при подземнотранспортни машини, работещи с големи натоварвания и ниски честоти на въртене.

Контактната зона, при която в сравнително малка площ се наблюдават големи напрежения, е определяща, както за равномерната работа на зъбната двойка, така за нейната дълговечност, които са определящи ресурса на работа на машинните елементи. Не от по малко значение са механичните характеристики на сърцевината при зъба. За добрите експлоатационни характеристики на зъбното колело в зависимост от типа на натоварване и периферната му скорост, определящи са подбора на материал, метода и технологията на формообразуване, предварителната термообработка и метода на уякчаване на контактната повърхност на зъба.

2. Разглеждан проблем

В статията е разглеждан проблема свързан с предварителната термична обработка на изковка на зъбно колело от стомана С40 БДС EN 10083-2. Средновъглеродните стомани от този клас подлежат на повърхностна термична обработка.

Предварителната термична обработка на заготовката е от голямо значение, както по отношение на хомогенното последващо уякчаване, посредством скоростно нагриване с топлинен източник (ток с висока честота-ТВЧ), така и по отношение механичните свойства на сърцевината на зъба.

3. Цел, изследователски методики и резултати

Целта на настоящата статия е чрез контрол на структурните и механични изменения при различни режими на термична обработка на изковка на зъбно колело от стомана С40 да се оптимизира технология за получаване на подходящи експлоатационни характеристики.

3.1 Методика на провеждания експеримент

Методиката на експеримента включва предварителна термична обработка на изковка от стомана С40, последваща механична обработка и нарязване на зъби, повърхностно уякчаване (ТВЧ) със зададени време на нагриване и честота на тока. Методичната последователност при провеждане на изследването е представена на (фиг.1). В схемата е показан и обектът на изследване.



Фигура 1 Блок схема на провеждания експеримент

От обекта (зъбното колело) са изрязани проби, на които се извършва макроструктурен анализ с помощта на стерео микроскоп тип "EUROMEX" и микроструктурен анализ посредством микроскоп „NEOPHOT 32”. Измерена е микротвърдост в контактната зона и основата на зъба посредством приставка „Hapeman”.

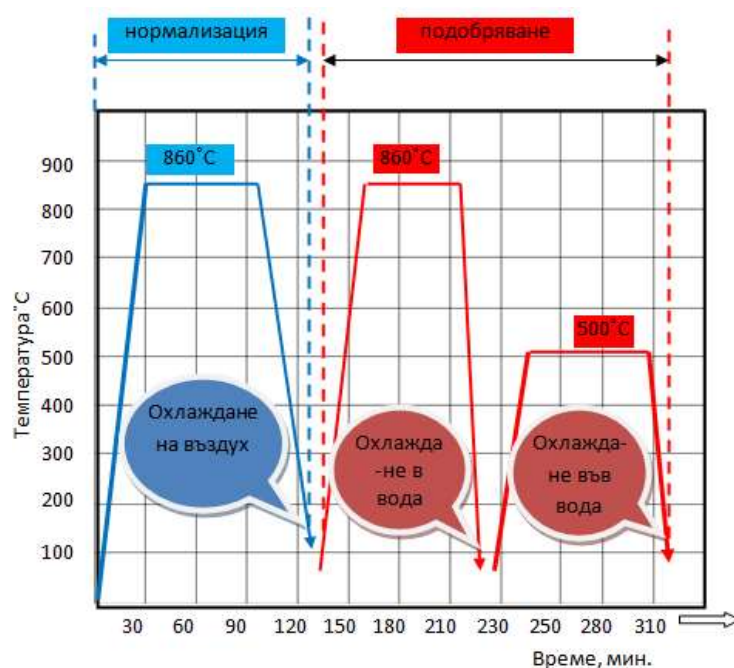
Подготовката на образците изисква зацепване на зъб от зъбното колело в междузъбие, като предварително зъбите се притискат до формиране на плътен контакт в зоната на контакта и заливане на пробата със запечатваща маса.

3.2 Резултати от проведените експерименти

Резултатите могат да се разгледат, като резултати от предварителната подготовка на основния материал под формата на изковка, която има определящо значение за жилавостта на зъбите, качеството на механично обработените повърхнини и структурната хомогенност в зоната закаляване (зона на контакта на зъба) и резултати от уякчаването на зъбите в зоната на контакта, посредством бързо нагриващ източник ТВЧ.

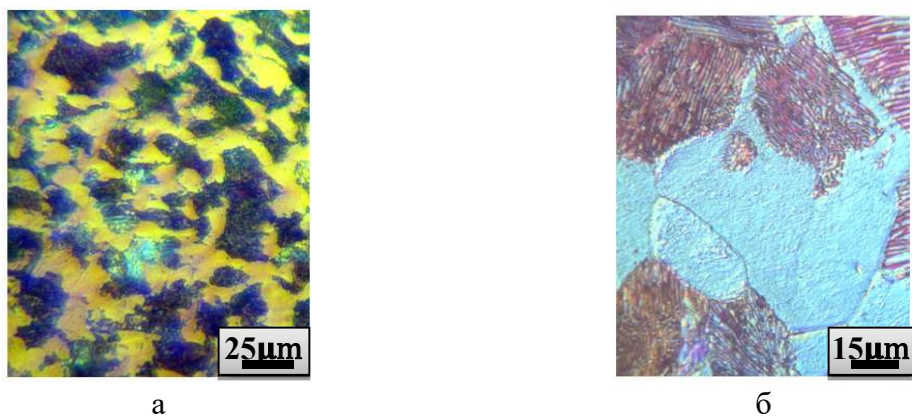
3.2.1 Предварителна термообработка на изследвания технологичен обект

Предварителната термообработка е проведена в електро-съпротивителна пещ. Използвани са два варианта на предварителна термообработка, нормализация и подобряване, като се взема в предвид състава на стоманата (фиг.2).



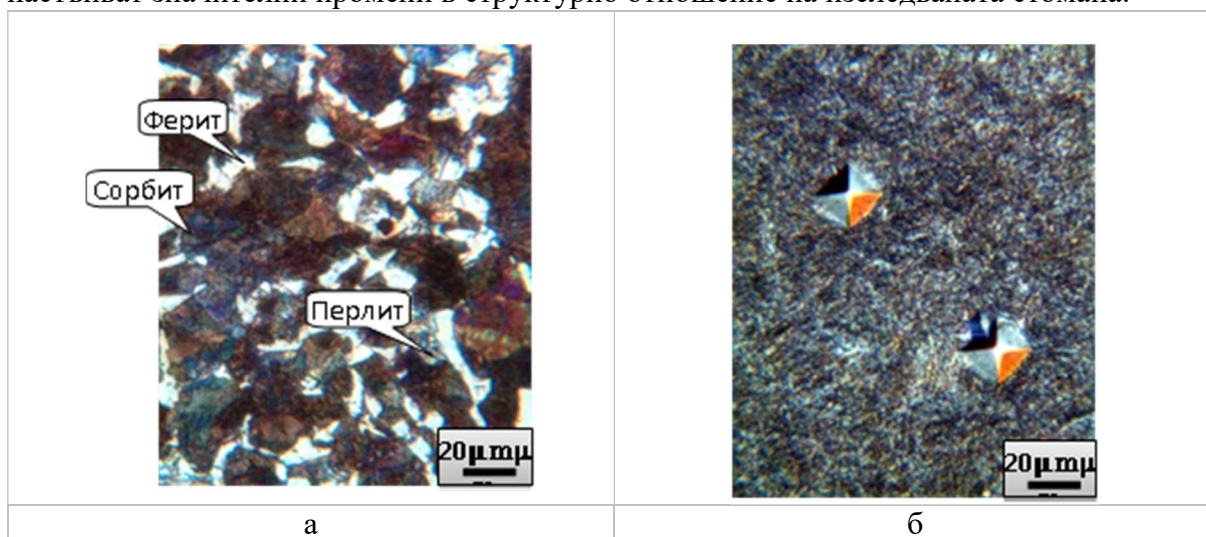
Фигура 2 Циклограма показваща възможността за промяна на структурата на изследвания материала чрез термично въздействие

Проведени са микроструктурни изследвания на основния материал (С40) на изковката (фиг.3а) от горещо валцован прокат. Наблюдава се характерната феритоперлитна структура. Много често прокатите в доставно състояние са с груба едрозърнеста структура при размер на зърната 50-60µm. Структури от този тип са със силно занижени механични характеристики (фиг.3б).



Фигура 3 Микроструктура на изследвания материал от изковката:
а/ основен материал с увеличение x 400;
б/ прокат в доставно състояние, подбран по случаен принцип с увеличение x 800.

При провеждане предварителната термообработка по циклограмата на (фиг.2), настъпват значителни промени в структурно отношение на изследваната стомана.



Фигура 4 Микроструктура на изследвания материал от изковката:
а/увеличение x 500 след нормализация;
б/увеличение x 500 след подобряване

На (фиг 4) са представени микроструктурите на стоманата след нормализация и подобряване. От проведения режим нормализация (фиг.4, а), се наблюдава силно занижаване количеството на ферит и нарастването на квазиевтектоида под формата на перлит и сорбит. Тези структури са по хомогенни и с по добри механични характеристики. При режим на подобряване (фиг.4, б) се изгражда зърнест перлит, който представлява хомогенен квазиевтектоид ($C=0,4\%$). Структурата е с много добри механични показатели, повишена жилавост, твърдост и хомогенност. Тези характеристики са особено добри за машинни детайли, които подлежат на механична обработка посредством отнемане на стружка. Режещия ръб на ножа не получава наслойка и се получава повърхнина с ниска грапавост. При повърхностно уякчаване чрез термична обработка посредством бързо нагряващи източници, предварително получената хомогенната структура, води формиране на еднороден мартензит.

3.2.2 Повърхностно уякчаване контактната зона на зъбите посредством високо честотен ток (ТВЧ)

Методите на термообработка (ТО) за стомани със средновъглеродно съдържание могат да бъдат: конвенционални (обемно закаляване) или с енергийни източници от типа: пламъчно, ТВЧ (ток с висока честота) и ВЕИ (високо енергийни източници). Основно изискване за експлоатацията на зъбните колела е жилава сърцевина и твърда контактна повърхност, за да се съпротивляват на износване.

Приоритет при малък модул на зъба е използването на ТВЧ закалка. При голям модул е възможно за тази стомана, която е с ниска прокаляемост да се използва пламъчно или обемно закаляване.

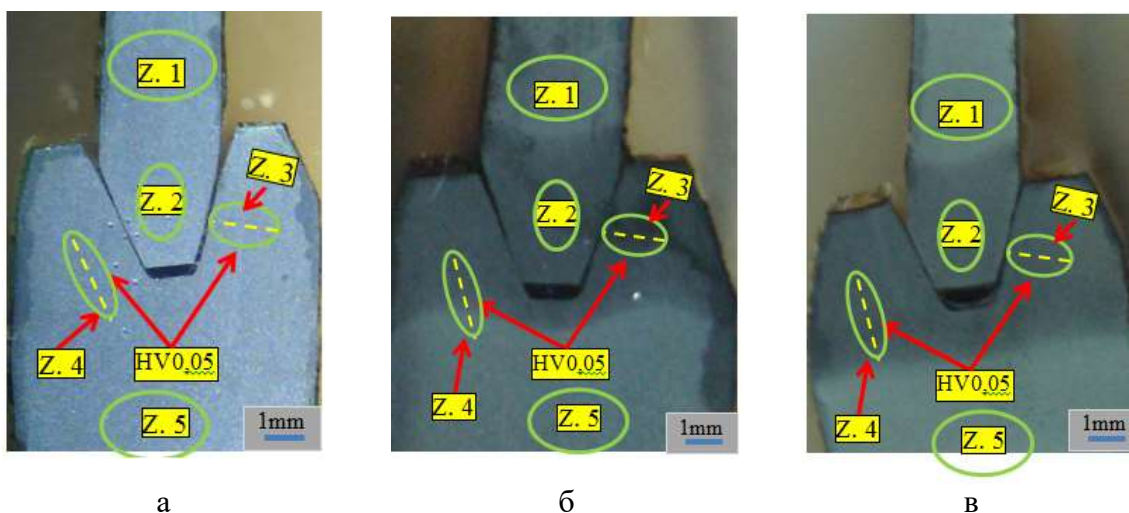
В конкретния случай при модул на зъбите $m=1,5$ се предпочита ТВЧ закаляване. Изследвани са три режима с промяна времето на нагряване и честотата на тока, които са показани таблица 1. Трите проби са подложени на предварителна термообработка подобряване, с цел получаване на хомогенна структура от зърнест перлит.

Следва повърхностно закаляване на зъбното колело с ТВЧ. В контактната повърхност на зъба настъпват структурни изменения, като на повърхността се формира бейнит- сорбитна структура, а в сърцевината зърнестия перлит не се променя.

На (фиг. 5), са представени макроструктурните изследвания при отделните режими представени на табл.1, с обозначени зоните на изследване. От макроструктурите са видни уякчените зони. С най добре изразена зона на уякчаване е проба 2 представена на (фиг.5, б)

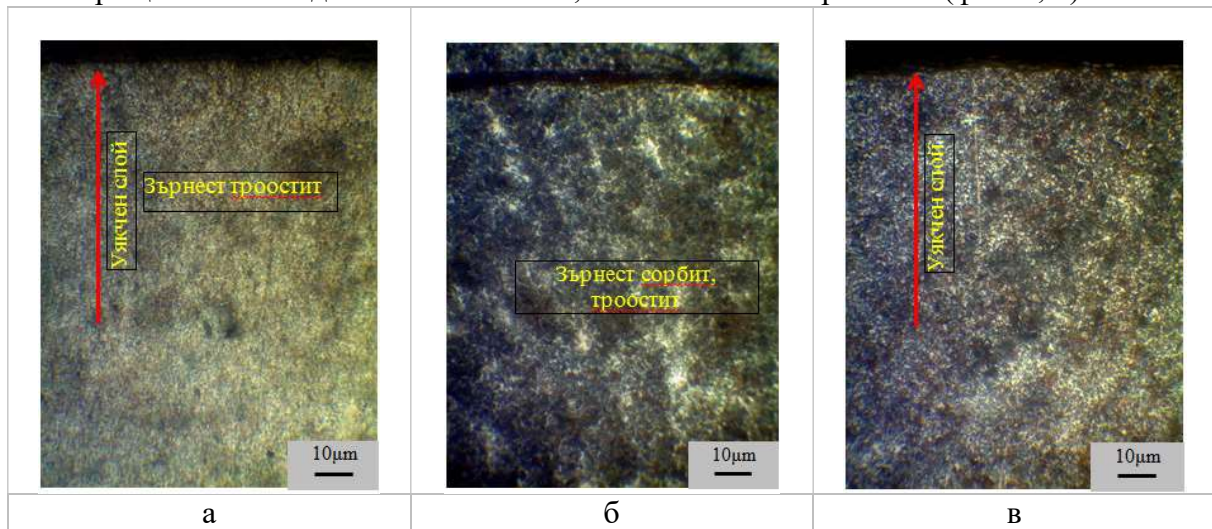
Таблица 1. Режими на термообработка с ТВЧ

обект №	τ , сек	f, kHz	охлаждане	$T_{отвр.}, ^\circ C$
1	5,5	66	вода	350
2	4	450	вода	350
3	5,5	450	вода	350



Фигура 5 Макро структура на зъбни колела с отделни режими на ТВЧ:
а/ №1 от табл. 1; б/ №2 от табл. 1; в/ №3 от табл. 1

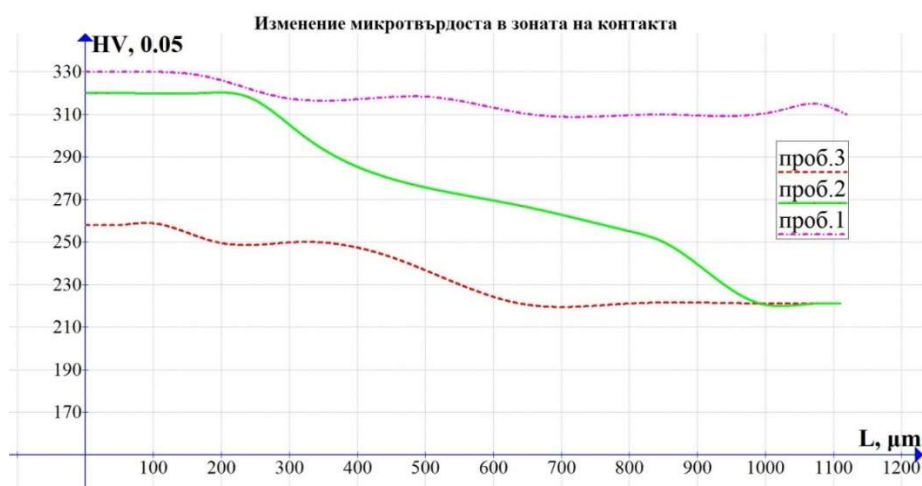
На (фиг.6), са представени микроструктурите на контактните зони. При режим 1 (фиг. 6, а), както е видно и от макроструктурното изследване (фиг. 5, а), закаляването е протекло по цялото сечение на зъба и след отвързване, се формира зърнест троостит в целия обем на зъба. От подбраните режими с най добра структура и механични свойства, отговарящи на необходимите изисквания, е зъбно колело с режим 2 (фиг. 6, б)



Фигура 6 Микроструктура на зъбно колело след режим на ТВЧ, увеличение x500:

- а) №1 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3;
- б) №2 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3;
- в) №3 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3.

На фиг.7, са представени измененията на микротвърдостите, от контактната зона, към сърцевината на зъба. С най добре изразен градиент, по отношение изменението на твърдостта е проба 2. Тя с изискуемата твърдост на повърхността, до 0,3 mm и плавен спад до 0,7 mm. Сърцевината на тази проба е зърнест перлит с твърдост (230HV0,05), създаваща висока жилавост. Уякчената повърхност е с повишена износоустойчивост за този вид зъбни колела.



Фигура 7 Изменение на микротвърдостта в зоната на контакта на зъба:

- а/№1 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3;
- б/№2 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3;
- в/ №3 с обозначени зона на фиг.6 зона на контакта Z.3

Изводи

- Определен е оптимален режим за предварителна термообработка на зъбни колела подложени на ТВЧ закаляване;
- Определен е режим за ТВЧ повърхностно уякчаване на зъбни колела с малък модул.
- Изследвана е и е оптимизирана структурата в зоната на основата на зъба.
- Определена и анализирана е градиентната твърдост в зоната на контакта и основата на зъба.
- Прогнозиран е оптимален режим за термообработка на зъбни колела от средно въглеродна стомана работещи в кранови редуктори
- Получен е оптимален резултат за при проба 2.

Литература

1. Spasova D., Investigation of the Structural Improvements after Heat Treatment of the Aluminium AlSi7Mg Alloy Wheels, International Journal “NDT Days”, ISSN: 2603-4018, Volume I / Issue 1 (2018) pages 526-531